corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 5 - 12 novembre 1960 - un fascicolo lire 150 **6°** numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

CIRCUITI ELETTRICI SEMPLICI

Abbiamo già visto nelle lezioni precedenti che cosa si intende per circuito elettrico e come si possono predisporre circuiti in serie, circuiti in parallelo e circuiti misti, cioè in serie-parallelo; abbiamo poi fatta la conoscenza delle unità pratiche di misura della corrente che circola nei circuiti stessi e delle relazioni esistenti tra dette unità. E' opportuno ora che i circuiti di cui sopra, e gli elementi che li compongono, vengano esaminati in modo più analitico nel loro funzionamento perchè, in pratica, saranno sempre disposizioni del genere — più o meno variamente combinate — che incontreremo, attuate sotto l'aspetto di apparecchiature elettroniche o di applicazioni delle stesse.

CIRCUITI in SERIE

Il circuito di **figura 1,** che già conosciamo, è un circuito formato da tre resistenze poste in serie rispetto ad una sorgente di energia. Incidentalmente diremo che la tensione e la corrente, in tale circuito, raggiungono i valori massimi e minimi nel medesimo istante (esse vengono dette per questo fatto, *in fase*); vedremo, più avanti, quale importanza assuma il fatto che tensione e corrente siano o meno in fase tra loro.

Facciamo osservare anche che, in un circuito a c.c., le cadute di tensione hanno una loro polarità: ossia il lato dal quale *la corrente entra* nella resistenza *è negativo*, quella dal quale *esce è positivo*.

Dalla caratteristica di cui sopra consegue che nel circuito di figura 1 la corrente può scorrere in una unica direzione. Altra caratteristica importante del circuito è che l'ammontare di tale corrente è eguale e costante in tutti i punti del circuito stesso. Esaminiamo infatti un tale circuito (**figura 2** - circuito corrispondente a quello di figura 1). In esso *A1*, *A2*, *A3* ed *A4* rappresentano degli amperometri (strumenti misuratori dell'intensità di corrente) inseriti in vari punti: indipendentemente dal valore della tensione applicata E_T e da quello della resistenza totale del circuito ($R_1 + R_2 + R_3$), le letture dei vari strumenti sono tutte identiche tra loro; se avviene una variazione — sia nella tensione che nella resistenza — ad essa corrisponde una variazione di lettura del medesimo ammontare in tutti gli strumenti.

Ricordiamo che gli strumenti indicati nel circuito, gli amperometri, devono essere collegati «in serie» al circuito, e quindi il circuito stesso deve essere aperto per inserirvi lo strumento. Nel circuito in serie valgono le seguenti leggi:

1) La corrente — come abbiamo detto — è la stessa in tutti i punti del circuito, quindi

$$I_{Totale} = I_1 = I_2 = I_3$$

2) La somma delle cadute di tensione lungo il circuito in serie, è eguale alla intera tensione applicata E_T, quindi

$$E_{Totale} = E_1 + E_2 + E_3$$

Resistenze in serie

La legge di Ohm può essere applicata al circuito intero, come anche ad ognuno dei singoli componenti del circuito stesso, il che può essere così espresso: nel primo caso (cioè circuito intero):

1) La corrente totale che scorre in un circuito, equivale al rapporto tra la tensione totale e la resistenza totale.

e nel secondo caso (singoli componenti), nel modo seguente:

2) La corrente che scorre in un dato punto di un circuito, equivale al rapporto tra la tensione presente ai capi di quel dato componente e la sua resistenza.

Applicando la legge di Ohm all'intero circuito della figura 2 si ha:

$$E_{Totale} = I\,R_{Totale}$$

La caduta di tensione individuale presente ai capi di ogni resistenza può essere espressa come segue:

$$E_1 = IR_1;\ E_2 = IR_2;\ E_3 = IR_3$$

Esprimendo ora la tensione di alimentazione e le cadute di tensione lungo il circuito in termini di cadute IR, si ha:

$$I\,R_{Totale} = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

e dividendo entrambi i membri dell'equazione per I (cioè sopprimendo I in entrambi i membri), si ha:

$$R_{Totale} = R_1 + R_2 + R_3$$

Da ciò si deduce che **in un circuito in serie, la resistenza totale è eguale alla somma delle resistenze dei vari componenti** separati.

La resistenza totale di un circuito viene detta *resistenza equivalente*, la quale è in sostanza il valore resistivo unico che può essere posto in sostituzione come carico senza che la corrente subisca per questo variazioni.

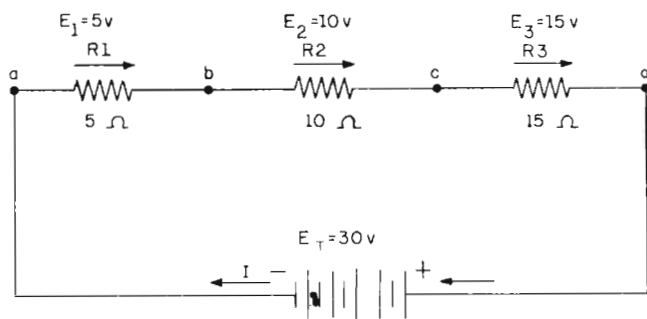



Fig. 1 — Circuito di tre resistenze in serie. La tensione ai capi delle resistenze è in rapporto al loro valore: il totale risulta sempre pari a quello della sorgente di tensione.

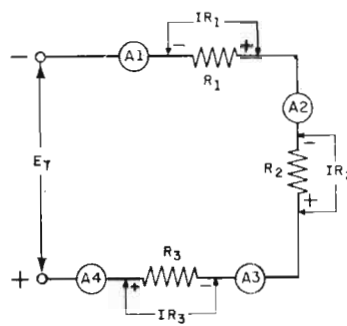



Fig. 2 — La corrente, in un circuito in serie è eguale e costante in tutti i punti del circuito stesso, come possono indicare i vari amperometri.

Potenza in un circuito in serie.

Poichè in tutti i punti di un circuito in serie la corrente è costante, anche il lavoro viene compiuto contemporaneamente in tutte le resistenze che compongono il circuito, quindi la potenza totale logicamente è data da:

$$P_{\text{Totale}} = P_1 + P_2 + P_3$$

ossia, per calcolare la potenza dissipata in un circuito in serie, come ad esempio quello di figura 2, si può:

1) computare le dissipazioni individuali e addizionarle, oppure

2) usare i valori totali come segue:

$$P_{\text{Totale}} = E_T \times I_T$$

Analisi di un circuito in serie.

Un collegamento in serie spesso adottato è quello dei circuiti dei filamenti delle lampade, e, poichè detti filamenti devono funzionare ad un solo ben definito valore di corrente, è necessario che questa sia costante in tutti i punti del circuito. Da ciò si deduce che, se per caso si verifica un mutamento nel circuito, è necessario che venga variata di conseguenza la tensione onde mantenere la corrente al suo giusto valore.

Per il motivo di cui sopra i circuiti in serie dei filamenti vengono spesso chiamati *circuiti a corrente costante* e a tensione variabile, ed ogni volta che una lampada è aggiunta o tolta dal circuito, è necessario regolare nuovamente la tensione.

Due dispositivi che non lavorano con la medesima corrente, non possono funzionare appropriatamente se collegati in serie: ad esempio, una lampada per 120 volt, 75 watt, richiede una corrente di 0,625 ampère ($I = W : V$); se tale lampada viene collegata in serie con un'altra pure per 120 volt ma da 60 watt (che richiede 0,500 ampère), è impossibile regolare la tensione di alimentazione in modo che entrambe abbiano la esatta luminosità. Infatti, se la tensione è regolata in modo da fornire una corrente di 0,500 ampère, quella da 75 watt non riceve energia sufficiente, mentre se viene regolata per una corrente di 0,625 ampère, quella da 60 watt viene sovraccaricata.

Il circuito in serie è particolarmente suscettibile di guasti e inconvenienti: se, per caso, anche una sola lampada si brucia e si interrompe, il circuito resta aperto e tutte le altre lampade restano prive di alimentazione. Ciò accade ad esempio, per le lampade di un albero di Natale, che sono appunto collegate in serie. Può accadere per contro, che una lampada vada in cortocircuito e in questo caso si ha un altro inconveniente: mancando la sua resistenza le altre lampade subiscono una pericolosa tensione, superiore a quella necessaria e per loro normale.

Vi sono nonostante ciò alcune applicazioni nelle quali i circuiti in serie sono impiegati vantaggiosamente: ad esempio, nell'illuminazione delle strade, dove i circuiti vengono controllati facilmente; in questo caso l'enorme risparmio di cavo di collegamento supera ogni altra considerazione. Viene risparmiato cavo perchè facendo ricorso ad una sorgente di tensione relativamente alta e, appunto, ad un circuito in serie, si possono usare conduttori più sottili in quanto la corrente è inferiore a quella che si avrebbe qualora le lampade fossero tutte collegate in parallelo tra loro. Nei circuiti in serie del tipo usato per l'illuminazione stradale, è necessario comunque adottare alcuni accorgimenti sia per ristabilire la continuità se una lampada si brucia, sia per la tensione applicata allo scopo di mantenere costante la corrente. Il primo problema viene risolto mettendo in parallelo ad ogni lampada un dispositivo detto «disco a pellicola isolante»: esso agisce come isolante alla normale caduta di tensione presente ai capi della lampada, quando il circuito è continuo.

Se la lampada però si interrompe, la pellicola isolante viene a subire — sia pure per un istante — l'intera tensione di alimentazione, poichè, verificandosi l'interruzione, si ha assenza di corrente e in assenza di corrente non vi è caduta di tensione attraverso le altre lampade. In tal caso la tensione è abbastanza forte da forare la speciale pellicola isolante: resta, per questo fatto, attuato un cortocircuito ai capi della lampada interrotta e viene ristabilita di conseguenza la continuità dell'intero circuito. L'azione si verifica così rapidamente che, in pratica, si nota solo una breve sospensione dell'intensità luminosa.

A questo punto però si produce il caso in cui (mancando il consumo di una lampada) il resto del circuito viene sovraccaricato: la tensione necessaria per un certo numero di lampade, viene infatti applicata a tutte

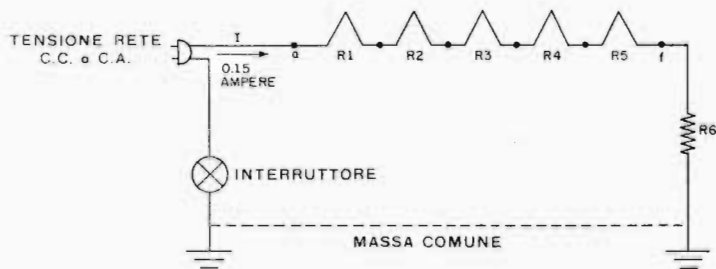



Fig. 3 — Circuito relativo all'accensione di filamenti di valvole (R_1, R_2, ecc.) in serie. La resistenza R_6 chiude il circuito e viene scelta di valore tale da far sì che tra i punti « a » ed « f » sia presente una tensione pari alla somma delle tensioni necessarie per ogni singola valvola.

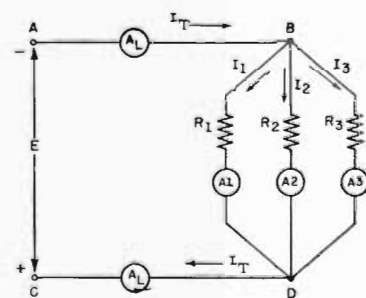



Fig. 4 — Circuito di tre resistenze in parallelo. Ogni resistenza costituisce un circuito a sè. La corrente di linea si suddivide nei tre rami.

le lampade meno una. Occorre un regolatore della corrente.

Un tipo di regolatore a corrente costante che rimedia a tale inconveniente consiste in un *trasformatore* (organo capace di innalzare o abbassare una data tensione) munito di un dispositivo mobile che si sposta automaticamente per dare una corrente costante per qualsiasi carico, entro la sua portata massima.

Il funzionamento del trasformatore è tale che una tensione ad esso applicata in un circuito detto « primario » trasferisce una tensione in altro circuito detto « secondario »; il grado di accoppiamento tra i due avvolgimenti controlla l'ammontare della tensione trasferita o meglio *indotta* nel secondario per l'alimenzione del circuito. Se uno dei componenti del circuito in serie viene eliminato, in questo speciale trasformatore il grado di accoppiamento si riduce, col risultato di una minore tensione indotta, e, quindi, di un ristabilimento della corrente al suo valore iniziale.

Nei radioricevitori, come vedremo presto, sono impiegate particolari lampade dette *valvole*; le valvole richiedono il riscaldamento di un loro elemento noto come *filamento*, e tale riscaldamento avviene facendo circolare — a somiglianza di quanto avviene in una comune lampadina — la corrente nel filamento stesso che, per tale fatto, è portato al calore rosso. In determinati tipi di ricevitori i diversi filamenti vengono collegati in serie tra loro e a volte una adatta resistenza di caduta (R6) viene posta nel circuito per abbassare la tensione di rete fino al valore opportuno (**figura 3**).

CIRCUITI in PARALLELO

La corrente in un circuito in parallelo.

Un circuito in parallelo è costituito da due o più circuiti nei quali può scorrere la corrente; un esempio è visibile in **figura 4** in cui si notano tre resistenze in parallelo, (in inglese, « shunt »), ai capi delle quali è applicata una tensione, ed ognuna delle quali costituisce un circuito separato. La corrente totale che entra ed esce dalla combinazione si chiama *corrente di linea*, ed è costituita dall'intera corrente fornita dalla sorgente di energia; nel nostro caso, può essere misurata inserendo un amperometro in qualsiasi punto della linea compreso tra *A* e *B* o tra i punti *C* e *D*. Nel punto *B* essa si divide nei tre rami in *I1*, *I2* ed *I3* e nel punto *D* le tre correnti si riuniscono per tornare a formare la corrente di linea che ritorna alla sorgente di energia.

Tutto ciò illustra una legge relativa ai circuiti in parallelo: **la corrente totale fornita al circuito è eguale alla somma delle correnti che percorrono i vari rami**, cioè:

$$I_{Tot} = I_1 + I_2 + I_3$$

In altre parole, la somma delle correnti che entrano in un nodo è eguale alla somma di quelle che ne escono. Usando un segno positivo per indicare le correnti che entrano in un nodo, e facendo riferimento al punto *B* del circuito di figura 4, si ha:

$$+ I_{Tot} - I_1 - I_2 - I_3 = O$$

Si noti che questa equazione non è che una seconda versione dell'equazione precedente.

La tensione in un circuito in parallelo.

Il rapporto tra le tensioni in un circuito in parallelo è mostrato nella **figura 5** nella quale vediamo nuovamente tre resistenze collegate in parallelo ai capi di una sorgente di alimentazione.

Il voltmetro *V* è collegato ai capi di tutti e tre i rami, come pure ai capi della sorgente. Se consideriamo trascurabile la resistenza dei fili di collegamento, vediamo che il terminale superiore di ognuna delle resistenze è al medesimo potenziale del terminale superiore della sorgente, rispetto ai rispettivi terminali inferiori, e viceversa, il che ci permette di constatare un'altra legge relativa ai circuiti in parallelo, e cioè che **la tensione applicata a tutti i rami di un circuito in parallelo è la medesima**:

$$E_{Tot} = E_1 = E_2 = E_3$$

Più avanti constateremo che, quando i valori delle resistenze di carico di un circuito sono molto bassi, il valore di resistenza dei collegamenti, normalmente basso, deve essere anch'esso considerato, in quanto risulta, in tal caso, relativamente grande in confronto alla resistenza del carico; la caduta di tensione *IR* che si produce nel conduttore non è più trascurabile.

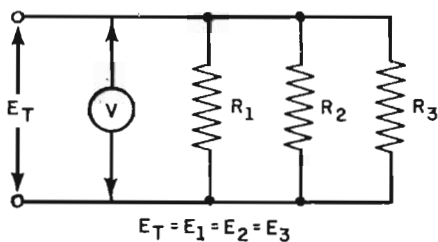



Fig. 5 — In un circuito in parallelo la tensione applicata ai diversi rami (R_1, R_2, R_3) è sempre la medesima, cioè: ET = la tensione ai capi di R_1, di R_2, di R_3.

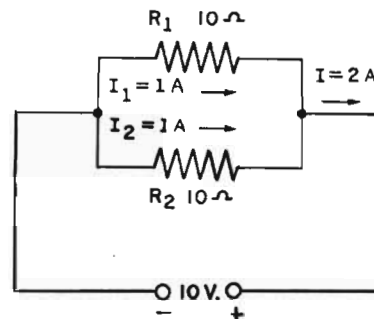



Fig. 6 — La corrente che la sorgente deve fornire, in un circuito in parallelo, è pari alla somma delle correnti dei diversi rami, cioè: $I_T = I_1 + I_2$.

Resistenze in parallelo.

Ricordiamo che, in un circuito in serie con più di una resistenza, la resistenza totale è eguale alla somma di tutte le resistenze, ed è maggiore di ognuna di esse. Ciò non accade nei circuiti in parallelo: il motivo può essere chiaramente illustrato dall'analogia con lo scorrimento dell'acqua in un tubo. Aumentando la resistenza del circuito, (somma di più resistenze = circuito in serie) si ottiene il medesimo effetto che si otterrebbe allungando il tubo attraverso il quale l'acqua deve scorrere, ossia aumentando la resistenza del tubo stesso. Se invece — mantenendo la lunghezza originale e la medesima pressione dell'acqua — colleghiamo un altro tubo affiancato al primo, (circuito con resistenze in parallelo) ossia in parallelo al primo, l'acqua può percorrere due strade e scorre complessivamente in maggiore quantità; aumentando ulteriormente il numero dei tubi, la resistenza diminuisce sempre più, e, purchè la pressione rimanga costante, passa una sempre maggiore quantità d'acqua.

Vediamo un esempio pratico: nel circuito in parallelo della **figura 6** ogni resistenza oppone 10 ohm di resistenza alla corrente; la tensione è applicata ai capi di ognuno dei rami, quindi si ha una corrente di 1 ampère in ogni resistenza. Tuttavia, quando le correnti si riuniscono, la corrente di linea è di 2 ampère. Applicando la legge di Ohm al circuito, si ha:

$$Re = \frac{E_{Tot}}{I_{Tot}} = \frac{10}{2} = 5 \text{ ohm}$$

ove *Re* sta per *resistenza equivalente*, ossia resistenza totale.

Per cui la resistenza equivalente di due rami eguali è eguale alla metà di uno dei due. Il circuito ora preso in esame alla figura 6 è un circuito in parallelo nel quale i rami hanno la medesima resistenza.

Facciamo ora un esempio — sempre riferendoci ad un circuito come da figura 6 — con altri valori. Supponiamo che la tensione sia di 12 volt e le resistenze di 6 ohm.

Una tensione di 12 volt provoca una corrente di 2 ampère in una resistenza di 6 ohm ($I = V : R$); se si collega una seconda resistenza di 6 ohm in parallelo alla prima, anche questa verrà percorsa dalla medesima corrente. La resistenza equivalente alla combinazione delle due resistenze è data, come abbiamo testè visto, dalla equazione:

$$R = \frac{E}{I}$$

ossia:

$$Re = \frac{12\ V}{4\ A} = 3 \text{ ohm}$$

Se si collegano infine tre resistenze da 6 ohm in parallelo ai capi di una sorgente di 12 volt, la corrente di linea sarà di 6 ampère, e la resistenza totale di 2 ohm, ossia un terzo della resistenza di ognuno dei rami.

E' evidente che la resistenza totale o equivalente di diverse resistenze eguali collegate in parallelo, equivale alla resistenza di una sola divisa per il numero delle resistenze: ad esempio, se cinque resistenze da 20 ohm vengono collegate in parallelo, la resistenza equivalente sarà:

$$Re = \frac{20}{5} = 4 \text{ ohm}$$

E' importante ricordare che la resistenza equivalente di un circuito in parallelo *è sempre inferiore* al valore della minore resistenza presente nel circuito.

Vi sono più metodi per determinare la resistenza equivalente di vari circuiti in parallelo; acquistando una certa familiarità con detti metodi, si risparmia molto tempo.

Abbiamo testè spiegato come si determina la resistenza totale o equivalente *Re*, in un circuito formato da resistenze di eguale valore. Possiamo asserire che uno dei sistemi più semplici per determinare *Re* consiste nell'usare la tensione e la corrente totale con la legge di Ohm, come si è visto, ossia:

$$Re = \frac{E_T}{I_T}$$

In base a questa equazione anche la corrente di ogni ramo può essere conosciuta se è nota la resistenza del ramo stesso. La corrente individuale può essere determinata infatti, da:

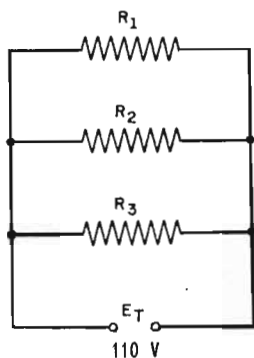



Fig. 7 — In un circuito in parallelo per trovare il valore della resistenza equivalente si può seguire il metodo della « conduttanza ». In base a tale metodo si deve ricordare che l'inverso della resistenza totale è pari alla somma dell'inverso di ogni singola resistenza. Trovata la resistenza equivalente si ricava il valore di corrente totale con la legge di Ohm.

$$I_1 = \frac{E_T}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E_T}{R_2}$$

Metodo della conduttanza.

Quando i vari rami di un circuito in parallelo non hanno la medesima resistenza, ci si può servire delle varie conduttanze per determinare la resistenza equivalente.

Poichè in un circuito in parallelo la sorgente può percorrere varie strade o percorsi, si ottiene il medesimo effetto che si otterrebbe aumentando la superficie della sezione del conduttore originale, per cui la corrente che scorre attraverso la resistenza è proporzionale alla conduttività di ogni ramo.

Sappiamo che la conduttanza G di un circuito è l'inverso della resistenza, ossia

$$G = \frac{1}{R}$$

il che significa che minore è la resistenza opposta al passaggio della corrente, maggiore è la conduttività ossia la facilità con cui il circuito la conduce.

La conduttanza totale di un circuito in parallelo equivale alla somma delle conduttanze dei vari rami, come segue:

$$G_{Totale} = G1 + G2 + ...$$

Nel circuito della figura 6 la conduttanza totale può essere determinata dalla equazione

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Vediamo ora come si ottiene detta equazione applicando la legge di Ohm: poichè

$$I_{Tot} = I_1 + I_2$$

in un circuito in parallelo, è possibile sostiture i valori di corrente secondo la legge di Ohm ($I = E : R$) come nell'equazione seguente, per cui si ha:

$$\frac{E}{Re} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2}$$

e dividendo entrambi i membri dell'equazione per E si ottiene:

$$\frac{I}{Re} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} \text{ ossia}$$

$$Re = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

quindi, **in un circuito in parallelo, l'inverso della resistenza totale è eguale alla somma dell'inverso delle resistenze di ogni ramo,** ossia la resistenza totale è eguale all'inverso della somma dei reciproci delle singole resistenze.

Poichè la resistenza totale, o equivalente, è minore di ognuna delle resistenze in parallelo tra loro, ne deriva che la corrente di linea è sempre maggiore di quella che passa nel ramo in cui si ha corrente più alta.

Le due equazioni equivalenti, ultime viste, possono essere usate per resistenze sia eguali che disuguali, e sono molto facili da ricordare.

Ecco due esempi di impiego. Trovare la resistenza equivalente (Re) e la corrente di linea (I_{Tot}) del circuito di **figura 7**, se R_1 è eguale a 6 ohm, R_2 è eguale a 12 ohm R_3 eguale a 18 ohm. Avremo:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{18} = \frac{11}{36}$$

$$Re = \frac{36}{11} = 3{,}27 \text{ ohm}$$

Per ricavare la corrente avremo:

$$I_{Tot} = \frac{110 \text{ volt}}{3{,}27 \text{ ohm}} = 33{,}6 \text{ ampère}$$

Trovare la resistenza equivalente, sempre del circuito di figura 7 se R_1 è 12 ohm, R_2 è 15 ohm ed R_3 è di 20 ohm. Avremo:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{12} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20} = \frac{12}{60}$$

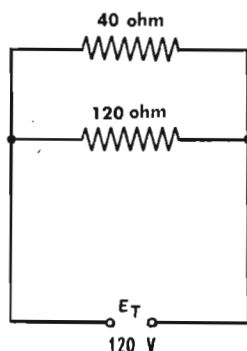



Fig. 8 — Un altro metodo per ricavare la resistenza equivalente di un circuito con resistenze in parallelo è quello dell'« equazione ». È utile quando gli elementi sono solo due. Il metodo deriva dal fatto che la resistenza equivalente di due resistenze in parallelo è pari al loro prodotto diviso per la loro somma.

$$Re = \frac{60}{12} = 5 \text{ ohm}$$

Metodo dell'equazione.

La resistenza equivalente di un circuito a due rami viene calcolata rapidamente mediante una formula derivante dalla equazione già vista, nel modo che segue. Poichè

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

si ha

$$Re = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

ossia **la resistenza equivalente di due resistenze in parallelo è eguale al loro prodotto diviso per la loro somma.**

Ecco un esempio di impiego. Trovare la resistenza equivalente e la corrente di ogni ramo di un circuito formato da due resistenze in parallelo di cui una da 40 ohm e l'altra da 120 ohm (**figura 8**). La tensione applicata è di 120 volt.

$$\text{Resistenza equivalente} = \frac{40 \times 120}{40 + 120} = 30 \text{ ohm}$$

$$\text{Corrente} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; I_1 = \frac{120}{40} = 3 \text{ ampère}$$

$$\text{Corrente} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; I_2 = \frac{120}{120} = 1 \text{ ampère}$$

Nel problema di cui sopra, si noti che, quando la corrente di linea entra in un nodo di due resistenze in parallelo, si divide tra i due rami in proporzione inversa rispetto alle loro resistenze, ossia la corrente minore scorre nella resistenza più alta, e viceversa.

Si può usare l'equazione ora esaminata, e cioè:

$$Re = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

anche per determinare la resistenza equivalente di un circuito a tre rami, considerando questi ultimi due alla volta.

Per trovare quindi la resistenza equivalente di 10, 20 e 30 ohm in parallelo si trova prima quella di 10 e 20 ohm, ossia

$$Re = \frac{10 \times 20}{10 + 20} = \frac{200}{30} = 6{,}67 \text{ ohm}$$

e quindi la resistenza di 6,67 ohm in parallelo a quella di 30 ohm, ossia

$$Re = \frac{6{,}67 \times 30}{6{,}67 + 30} = \frac{200}{36{,}7} = 5{,}45 \text{ ohm}$$

Una equazione per trovare la resistenza equivalente di tre resistenze in parallelo può essere derivata come segue.

Poichè

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

si ha

$$Re = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

Questo metodo non è però molto utile nei circuiti con più di tre rami, poichè, come si vede, esso comporta molti calcoli aritmetici.

Metodo della tensione fittizia.

Il metodo più indicato da seguire per determinare la resistenza equivalente di un circuito in parallelo — e per trovare tutti i valori incogniti — dipende in gran parte dei valori noti a disposizione.

Un sistema semplice, molto utile per coloro che usano il regolo calcolatore, è quello della tensione fittizie, per determinare *Re* (resistenza equivalente) quando si ignora l'ammontare della tensione applicata.

Sappiamo già che la base della risoluzione dei circuiti in parallelo consiste nell'addizionare le varie correnti per ottenere la corrente di linea, e nel dividere il potenziale per tale valore onde ottenere *Re*.

Normalmente, la resistenza di un circuito è costante e dipende essenzialmente dai suoi componenti: se si

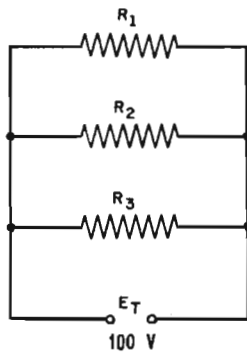



Fig. 9 — Un terzo metodo, infine, per ricavare la resistenza equivalente di un circuito in parallelo è quello detto della « tensione fittizia ». Si prende a base una tensione qualsiasi (meglio se a fattore 10 o multiplo di 10) e con essa — applicando la legge di Ohm per ogni ramo — si ricavano le correnti che, sommate, serviranno per ottenere « Re ».

varia la tensione applicata, la corrente varia contemporaneamente, ma non la resistenza. Per questo motivo è possibile stabilire una tensione (fittizia) ed individuare, col suo impiego, le varie correnti che si otterrebbero qualora essa venisse applicata al circuito. Il rapporto tra la tensione fittizia e la corrente di linea equivale ad *Re*, resistenza equivalente.

Qualunque potenziale può essere assunto a tale scopo, e chi usa il regolo con una certa esperienza, troverà questo metodo molto comodo specie assumendo come valore di tensione il fattore 10 o un suo multiplo; inoltre, allo scopo di evitare cifre decimali, si può stabilire un valore tale che la corrente che passa attraverso il ramo in cui la resistenza è maggiore, sia compresa tra 1 e 10 ampère.

E' ovvio che le correnti degli altri rami risulteranno maggiori.

Esempio: tre resistenze, R_1 di 15 ohm, R_2 di 20 ed R_3 di 30 sono collegate in parallelo (**figura 9**): trovare la resistenza equivalente.

Assunto il valore di 100 per la tensione fittizia, si ha:

$$I_1 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_1} = \frac{100}{15} = 6{,}67 \text{ ampère}$$

$$I_2 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_2} = \frac{100}{20} = 5 \text{ ampère}$$

$$I_3 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_3} = \frac{100}{30} = 3{,}33 \text{ ampère}$$

$$I_{Totale} = 6{,}67 + 5 + 3{,}33 = 15 \text{ ampère}$$

$$Re = \frac{\text{Tensione fittizia}}{I_{Totale}} = \frac{100}{15} = 6{,}67 \text{ ohm}$$

Se non si usa il regolo, un'alternativa del metodo consiste nello stabilire una tensione fittizia numericamente eguale al valore della resistenza maggiore.

Nell'esempio precedente, infatti, se si stabilisce la tensione di 30 volt (pari ai 30 ohm della maggiore resistenza), si sa che la corrente attraverso R_3 è di 1 ampère e che quella degli altri due rami è maggiore di 1 ampère. Il problema può essere sviluppato con tale valore di tensione per controllare il valore *Re* ottenuto precedentemente.

ANALISI di un CIRCUITO in PARALLELO

L'aggiunta o la sottrazione di un componente ad un circuito in parallelo provoca una variazione nella corrente di linea, ma non nel potenziale applicato; l'unico limite al numero dei rami è la portata massima di corrente da parte della linea, nonchè il carico massimo che la sorgente può sopportare.

Poichè sono ben pochi gli inconvenienti caratteristici dei circuiti in serie riscontrabili in quelli in parallelo, il sistema è particolarmente adatto per la distribuzione dell'energia elettrica.

Se un impianto elettrico fosse del tipo in serie, tutti i dispositivi elettrici dovrebbero essere azionati o spenti contemporaneamente, mentre in un circuito in parallelo, qualsiasi apparecchio elettrico può essere collegato alla linea o tolto dal circuito senza influire sul funzionamento degli altri. Inoltre, se collegati in serie, tutti gli apparecchi dovrebbero funzionare con la medesima corrente, mentre nel collegamento in parallelo si può alimentare un amplificatore che consumi 1 ampère e contemporaneamente un piccolo ricevitore radio il cui assorbimento sia di soli 0,25 ampère.

Se uno degli apparecchi brucia, e conseguentemente il suo circuito rimane aperto, ciò non paralizza il funzionamento degli altri apparecchi collegati alla medesima sorgente.

Per finire, nemmeno un cortocircuito in un apparecchio potrebbe costituire un pericolo per gli altri collegati in parallelo, pur variandone il funzionamento, a volte interrompendolo addirittura a causa del sovraccarico imposto alla linea. Quest'ultima normalmente è protetta da tale eventualità a mezzo di dispositivi di sicurezza detti « fusibili », o valvole di interruzione, le quali fondono, interrompendo il circuito, se vengono attraversate da una corrente superiore a quella che devono sopportare in condizioni normali di funzionamento, e, oltre a proteggere la linea, segnalano l'inconveniente all'utente che può così intervenire e provvedere in merito.

La potenza dissipata in un circuito in parallelo.

Come nei circuiti in serie, l'equazione della potenza di un circuito in parallelo può essere derivata dalla

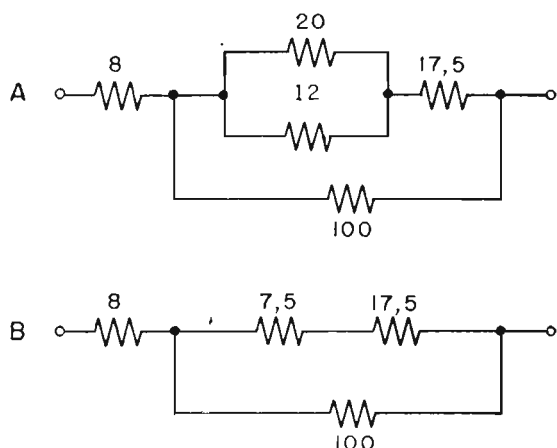
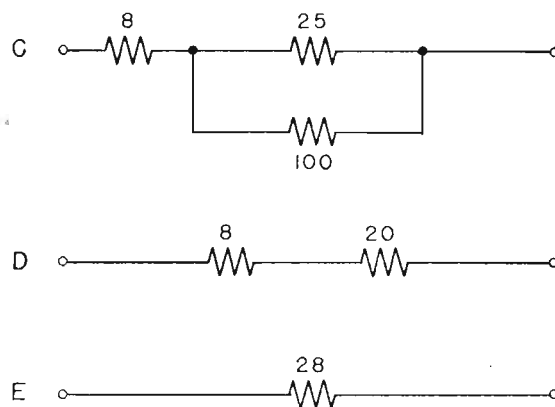



Fig 10 — Circuito misto e successivi passaggi del calcolo per ottenere « Re ».

legge di Ohm. La potenza dissipata in un circuito è eguale alla somma delle potenze dissipate nei vari rami, come segue:

$$P_{Totale} = P_1 + P_2 + P_3$$

Se si conosce la tensione di alimentazione e la corrente di linea, si può usare la seguente equazione:

$$P_{Totale} = E_T I_T$$

Se si conosce la corrente di linea e la resistenza equivalente, l'equazione è:

$$P_{Totale} = I^2_T \times Re$$

Se si conosce la tensione di alimentazione e la resistenza equivalente invece si ha:

$$P_{Totale} = \frac{E^2_T}{Re}$$

CONFRONTO tra CIRCUITI in SERIE e CIRCUITI in PARALLELO

	CIRCUITO	
	Serie	Parallelo
Corrente	$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = ...$	$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + ...$
Tensione	$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + ...$	$E_t = E_1 = E_2 = E_3 = ...$
Resistenza	$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + ...$	$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...}$

TABELLA 36 —

La Tabellina a lato, riassume le differenze dei rapporti tra tensione, corrente e resistenza nei due tipi di circuiti; è opportuno impararla a memoria onde non incontrare difficoltà con i circuiti più complessi di cui parleremo in seguito.

CIRCUITI SERIE-PARALLELO

Questo tipo di circuito non è che una combinazione dei due di cui abbiamo parlato precedentemente, e, per risolvere i problemi che gli si riferiscono, logicamente vanno utilizzati i principi di entrambi.

Ricordiamo che qualsiasi numero di resistenze in serie può essere sostituito da una sola resistenza avente un valore pari alla somma di tutti gli altri, e che qualsiasi numero di resistenze in parallelo può essere sostituito da una sola resistenza avente un valore pari al valore reciproco della somma dei reciproci delle varie resistenze.

Ad esempio, determiniamo il valore del circuito di **figura 10A.** Le due resistenze, rispettivamente di 20 e 12 ohm in parallelo, possono essere sostituite dal valore di 7,5 ohm come esposto nella sezione **B** della figura stessa; quindi, i due valori di 7,5 e 17,5 ohm, in serie, possono essere sostituiti dalla loro somma che corrisponde a 25 ohm, come si vede nella sezione **C.** Continuando, i due valori di 25 e 100 ohm in parallelo vengono sostituiti da quello equivalente di 20 ohm della sezione **D,** ed in sezione **E** abbiamo la resistenza di 28 ohm (8 e 20 ohm in serie) equivalente a quella dell'intero circuito della sezione **A.**

In pratica, il circuito misto serie-parallelo è quello che si incontra nella maggior parte dei casi; nella risoluzione, è necessario ridisegnarlo e semplificarlo.

Nella lezione teorica del prossimo fascicolo ci occuperemo in modo più analitico dei circuiti serie-parallelo che, in effetti, non possiamo più definire circuiti semplici e che perciò analizzeremo sotto la voce di circuiti complessi.

GLI STRUMENTI di MISURA

Ad un tecnico può presentarsi la necessità di progettare ricevitori, trasmettitori, ecc., mettere in funzione apparecchiature nuove, assumere la loro manutenzione onde assicurarne il funzionamento continuo o, infine, riparare complessi elettronici che abbiano subito guasti; a tale scopo sono disponibili vari strumenti di prova (**figura 1**) atti ad aiutarlo efficacemente nella sua attività.

Per collaudare e porre in funzione un complesso elettronico, e per controllarne la costanza di funzionamento, il tecnico si serve di apparecchi speciali che prendono il nome di generatori di segnali, voltmetri, misuratori di frequenza e misuratori di uscita ecc., e che impareremo man mano a conoscere.

Per contro, allorchè si verifica un guasto, sono i multimetri o misuratori multipli o « tester », i voltmetri elettronici o voltmetri a valvola, i « signal tracers » (apparecchi atti a rivelare la presenza di segnali elettrici trasformandoli in suoni o in tensioni o in correnti che possono essere misurate con altro strumento), i prova-valvola ed altri dispositivi che forniscono un aiuto considerevole per localizzare rapidamente il guasto.

Poichè il tecnico deve comprendere perfettamente come tali apparecchiature funzionino e come debbano essere usate correttamente, in queste prime lezioni del Corso diremo anzitutto dei più correnti strumenti di misura o strumenti indicatori che sono tra i componenti più importanti — se non i più importanti decisamente — di molte apparecchiature di misura.

Ciò che segue è pertanto una necessaria esposizione del funzionamento dei differenti tipi di strumenti « ad indice », adottati correntemente negli apparecchi di misura propriamene detti: questi ultimi saranno poi oggetto di descrizioni dettagliate, che metteranno il lettore in grado di costruire da sè stesso i tipi principali, vale a dire quelli di più frequente impiego.

PRINCIPI di FUNZIONAMENTO degli STRUMENTI

Gli strumenti vengono usati per misurare quantità elettriche; alcuni misurano la tensione, altri la corrente, altri la resistenza, ed altri ancora possono effettuare tutte e tre le misure. Altri tipi di strumenti misurano invece la potenza, la capacità, l'induttanza o altre entità elettriche. Qualunque sia la quantità elettrica che lo strumento deve misurare, *il suo funzionamento* (salvo qualche eccezione), *è in funzione della corrente che lo attraversa.*

Misuratori di corrente. Poichè gli strumenti non possono indicare alcuna lettura a meno che non vengano percorsi da corrente, potrebbe sembrare a prima vista che essi siano utili solo per la misura di corrente, ma ciò non corrisponde alla realtà, in quanto il circuito di uno strumento può essere modificato e tarato in modo tale da effettuare misure di quasi tutte le unità elettriche basilari. Ad esempio, uno strumento può essere utilizzato per misurare tensioni anche se esso dà letture solo a causa della corrente che lo attraversa, e ciò può accadere in quanto, come sappiamo, detta corrente varia in proporzione esatta rispetto alla tensione applicata al circuito (*legge di Ohm*), per cui il quadrante dello strumento può essere tarato in volt invece che in ampère. Inoltre, poichè l'ammontare della resistenza di un circuito influisce direttamente sulla quantità di corrente che lo percorre — se lo si desidera — la scala o quadrante dello strumento può essere calibrata in unità di resistenza invece che in unità di corrente o di tensione.

Conseguenze di un flusso di corrente. Il passaggio di una corrente in un conduttore determina due fenomeni principali, *l'elettromagnetismo* ed il *calore*, i quali, vengono utilizzati per il funzionamento degli strumenti.

1) Il lettore sa già che, quando una corrente scorre attraverso una bobina, si ha un *elettromagnete*, si produce cioè attorno e all'interno della bobina, un *campo magnetico* che è direttamente proporzionale all'intensità della corrente; ora, la forza di questo campo magnetico può essere usata in differenti modi per indicare l'ammontare della corrente che scorre nella bobina stessa. Tre tipi fondamentali di strumenti sono basati sull'elettromagnetismo: gli strumenti a **ferro mobile**, gli strumenti **a bobina mobile**, e **i dinamometri.**

2) Quando la corrente scorre in un conduttore, si produce un altro fenomeno di cui è stato già detto; si genera cioè un calore la cui intensità è direttamente proporzionale all'intensità della corrente stessa; ne consegue che la quantità di calore che si sviluppa può essere utilizzata per indicare detta corrente. Gli strumenti basati su questo principio sono detti « misuratori termici », ed i due tipi principali sono gli amperometri **a filo caldo** e gli strumenti a **termocoppia**.

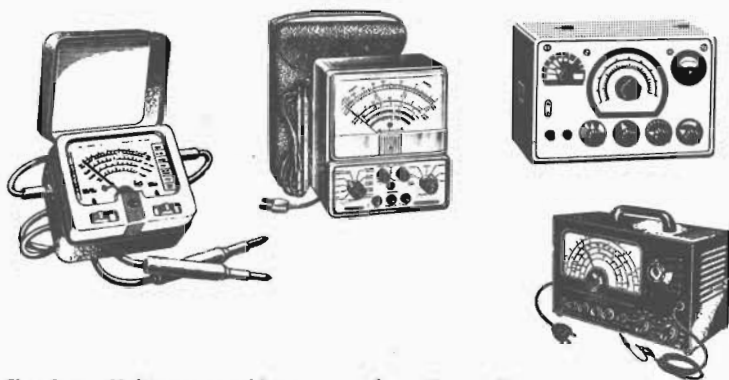



Fig. 1 — Molte apparecchiature agevolano il compito del radiotecnico: alcune sono portatili, altre fisse, da laboratorio.

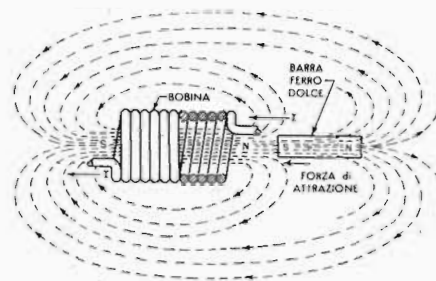



Fig. 2 — Se una barra di ferro dolce viene posta nelle vicinanze di un elettromagnete, essa si magnetizza a sua volta e viene attratta all'interno della bobina.

MISURATORI ELETTROMAGNETICI

Strumenti a ferro mobile.

Sappiamo che se una barra di ferro dolce viene posta in prossimità di un elettromagnete, essa si magnetizza a sua volta (**figura 2**); le molecole si allineano, e le linee di forza presenti nella barra si dispongono nella medesima direzione di quelle provenienti dall'elettromagnete. Poichè le linee di forza si comportano in certo qual modo come fossero strisce di gomma tese ed allungate, esse tendono ad accorciarsi, per cui la barra di ferro dolce viene attratta verso l'elettromagnete, e — nel caso in cui la bobina sia fissa e la barra risulti libera di muoversi — la barra viene attirata all'interno della bobina.

Se la corrente che attraversa la bobina inverte la sua direzione, l'inversione viene seguita dalle molecole del ferro; le linee di forza invertite della barra si allineano nuovamente rispetto a quelle provenienti dalla bobina, e si verifica ancora la medesima forza di attrazione.

Da ciò si deduce che la barra di ferro viene attratta dalla bobina sia che questa venga percorsa da corrente continua come da una corrente che inverta, anche con notevole frequenza, il suo senso; quest'ultimo tipo di corrente, che impareremo presto a conoscere, è quello noto con il nome di *corrente alternata*. Il ferro dolce viene usato unicamente in quanto la sua magnetizzazione cessa non appena cessa la corrente nell'elettromagnete. Vi sono due tipi di strumento a ferro momobile: il tipo a stantuffo ed il tipo a repulsione con aletta mobile.

Tipo a stantuffo. La barra mobile di ferro dolce, opportunamente collegata ad un indice, viene posta in modo da trovarsi parzialmente introdotta in una bobina fissa (**figura 3**); il complesso formato dalla barra e dall'indice è reso solidale con un perno *A*. Come abbiamo detto, quando una corrente scorre attraverso una bobina, si produce un campo magnetico grazie al quale la barra di ferro dolce si magnetizza e subisce una forza di attrazione che la porta all'interno della bobina stessa; tale movimento provoca, in questo caso, uno spostamento dell'indice, di un ammontare che risulta direttamente proporzionale all'intensità del campo magnetico. L'intensità, a sua volta, è in relazione alla quantità di corrente che scorre attraverso la bobina. Il tipo a stuntuffo è uno degli strumenti usati al nascere della tecnica dell'elettrologia per effettuare misure di corrente: attualmente è superato in seguito allo sviluppo di altri dispositivi di maggior precisione.

Tipo a repulsione ad aletta mobile. Questo tipo, come il precedente, è basato sulla magnetizzazione di una barra di ferro dolce provocata da un elettromagnete. La differenza sta nel fatto che si usano qui due barre invece di una sola, ed entrambe sono alloggiate internamente alla bobina. Quando quest'ultima viene percorsa da corrente, le due barre vengono magnetizzate con la medesima polarità (**figura 4**), e, poichè i poli analoghi si respingono, esse sono costrette ad allontanarsi l'una dall'altra. Se la corrente si inverte, anche la polarità magnetica delle barre subisce la medesima inversione, per cui la forza che ne determina l'allontanamento continua a manifestarsi con la medesima intensità.

Se una delle due barrette è fissa, mentre l'altra è libera di muoversi, si può collegare meccanicamente un indice a quest'ultima, in modo che la forza di repulsione manifestantesi indichi indirettamente l'ammontare della corrente.

Vi sono due tipi di strumenti basati sul principio della repulsione: il tipo ad alette radiali, e quello ad alette concentriche.

Nel primo tipo, all'interno della bobina si trovano due alette rettangolari, (**figura 5**), una delle quali è fissa, mentre l'altra — collegata ad un indice — è libera di ruotare su di un perno. Quando la bobina è percorsa da corrente, le due alette si magnetizzano e si respingono a vicenda, per cui quella mobile si allontana da quella fissa spostando contemporaneamente l'indice il quale, a sua volta, indica su una scala l'ammontare della corrente che percorre la bobina.

Il secondo tipo funziona col medesimo principio, e viene definito « concentrico » in quanto le alette semicircolari sono alloggiate una internamente all'altra (**figura 6**). Anche qui una di esse è fissa, mentre l'altra, collegata ad un indice, è libera di ruotare su di un perno.

Sebbene entrambi questi strumenti — detti a re-

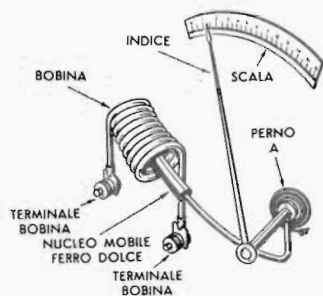



Fig. 3 — Avviando corrente alla bobina, la barra di ferro dolce viene attratta e l'indice compie sulla scala un movimento proporzionale alla corrente.

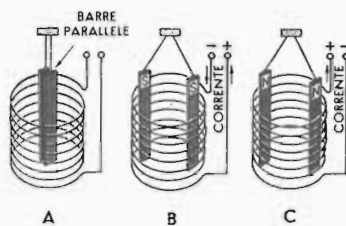



Fig. 4 — Le due alette di ferro dolce, poste all'interno della bobina si allontanano quando circola corrente, anche se il senso di quest'ultima si inverte.

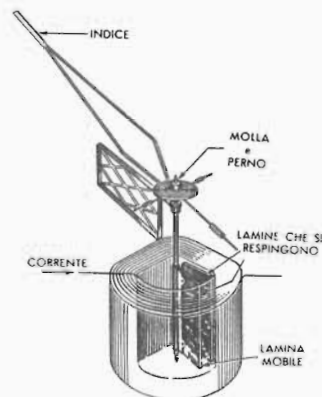



Fig. 5 — Una aletta è fissa; quella mobile è dotata di indice. Tipo ad alette radiali.

pulsione — siano adatti a misurare sia correnti continue che correnti alternate, essi vengono usati generalmente per misure a corrente alternata a frequenza (cioè, inversione di polarità) bassa (frequenza indudriale delle reti di distribuzione dell'energia elettrica pari, quasi sempre a 50 volte al secondo).

Strumenti a bobina mobile.

La maggior parte degli strumenti usati dai tecnici è basata sul sistema detto « a bobina mobile ». Tali strumenti sono costituiti da un avvolgimento di filo molto sottile supportato da un piccolo telaio di alluminio, immerso nel campo di un magnete permanente (**figura 7**). La bobina è sospesa su perni fissati su due lati opposti del telaio, in modo che questo sia libero di muoversi in senso rotatorio, mentre due molle a spirale controllano gli spostamenti angolari dell'indice.

Quando la bobina del telaio viene percorsa da corrente produce un campo magnetico, la cui polarità è tale da provocare una forza di repulsione rispetto alla polarità del vicino magnete permanente: a causa di ciò, essa ruota sui suoi perni spostando contemporaneamente l'indice il quale indica così su una scala l'ammontare della corrente che scorre.

La sensibilità di questo tipo di strumento può essere molto spinta, al punto tale che anche *una frazione di microampère* può determinare già uno spostamento dell'indice lungo la scala graduata.

Se la posizione di riposo dell'indice ed il punto della scala corrispondente allo zero vengono posti in centro alla scala, lo strumento può essere utilizzato per effettuare misure molto precise di resistenza, e di altri valori elettrici, facendo parte di speciali apparecchiature complesse dette *ponti di misura*. Lo strumento può essere inoltre modificato per effettuare varie misure di corrente continua, e, collegandolo opportunamente ad un dispositivo detto « raddrizzatore », può essere utilizzato per misure di corrente rettificata o raddrizzata, ossia per misure, in definitiva, in corrente alternata di cui — come abbiamo detto — ci occuperemo tra breve.

Grazie alla sensibilità ed alla precisione di questo strumento, nonchè alla sua possibilità di utilizzazione per la misura di tensioni e correnti continue, di tensioni e correnti alternate e di resistenze, esso viene invariabilmente usato per la realizzazione dei **multimetri** o « **tester** » i quali non sono che una combinazione di misuratori di tensioni, correnti e resistenze.

Infine, questo tipo di indicatore viene impiegato per la costruzione dei cosiddetti voltmetri elettronici, comunemente detti *voltmetri a valvola*, e si può affermare che esso è, senza dubbio, il tipo di strumento più importante nella radiotecnica e nelle attività inerenti.

Dinamometro. Il dinamometro o *wattmetro* è basato sul principio della repulsione magnetica tra due o più campi magnetici. Quando viene realizzato mediante l'impiego di due bobine, una di essa è fissa mentre l'altra, collegata ed un indice, è libera di muoversi su perni in senso rotatorio. La corrente scorre in entrambe le bobine producendo due campi magnetici, e la bobina mobile, collegata all' indice, viene respinta dai poli analoghi della bobina fissa: si sposta, ruotando su se stessa e determinando così lo spostamento dell'indice. Questo strumento può misurare tensioni, correnti e potenze, sia in corrente alternata che in corrente continua, sebbene venga comunemente usato per effettuare misure di potenza in watt (**figura 8**).

Quando il dinamometro viene usato come wattmetro è costituito da due bobine fisse avvolte con molte spire di filo sottile, aventi un'alta resistenza, collegate in parallelo alla sorgente di tensione che alimenta il circuito; una terza bobina, però mobile e a bassa resistenza, viene collegata in serie a detta tensione, in modo che venga percorsa da tutta la corrente che scorre nell'intero circuito. Il complesso costituito dalla bobina mobile a bassa resistenza e dall'indice, ruota su se stesso determinando uno spostamento di quest'ultimo proporzionale all'intensità risultante dalla combinazione dei due campi magnetici. In tal modo lo spostamento angolare è proporzionale sia alla corrente che alla tensione presenti nel circuito, e poichè anche la potenza è proporzionale ad entrambe, la scala dello strumento può essere tarata direttamente in watt, vale a dire, in unità di potenza.

MISURATORI TERMICI

Amperometri a filo caldo.

Il calore generato dal passaggio di corrente in un conduttore fa sì che questo si dilati; negli amperometri

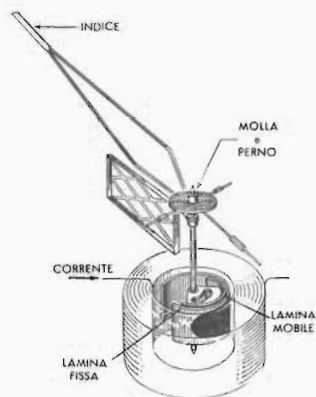



Fig. 6 — Alette concentriche: una è fissa ed una, con indice, è mobile.

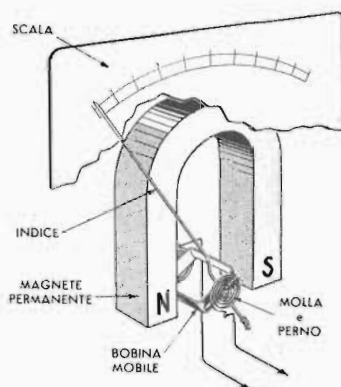



Fig. 7 — Strumento a « bobina mobile »; è il tipo più usato in radio.

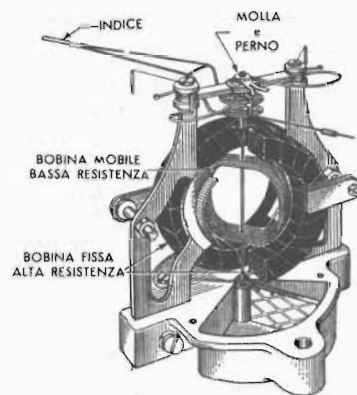



Fig. 8 — Dinamometro: si hanno due bobine, una fissa ed una mobile.

a filo caldo la dilatazione di detto conduttore — mediante opportuni collegamenti meccanici — determina lo spostamento di un indice il quale indica su una scala graduale, l'ammontare della corrente.

Lo strumento viene collegato in serie al carico mediante i terminali *A* e *B* (vedi **figura 9**), mentre all'interno dello strumento, il collegamento n. 1 si trova tra i due terminali. Il collegamento n. 2 invece è connesso al primo in prossimità del centro, e la sua tensione meccanica è controllata dalla apposita molla di tensione. Il filo n. 2 passa inoltre lungo la base arrotondata di un perno collegato ad un indice che ha il compito di determinare gli spostamenti angolari di quest'ultimo. Quando la corrente passa attraverso il filo n. 1, esso si scalda proporzionalmente alla quantità di corrente: maggiore è quest'ultima, maggiore è il calore che viene generato e quindi la dilatazione che ne consegue. Non appena il filo n. 1 si dilata allungandosi, esso viene tirato grazie alla tensione della molla attraverso il filo n. 2 il quale, per attrito, fa ruotare il perno determinando così lo spostamento dell'indice lungo la scala. L'indice è regolato in modo da indicare 0 in assenza di corrente, mediante la vite di regolazione che determina la tensione meccanica del filo n. 1.

Strumento a termocoppia.

Se un conduttore viene attraversato, ad esempio dalla corrente di 1 ampère, si produce una determinata quantità di calore, la quale è costante indipendentemente dal fatto che la corrente sia continua o alternata, e — in questo secondo caso — sia che la frequenza sia alta o bassa. Da ciò si deduce che l'effetto termico può essere utilizzato per misurare qualunque tipo di corrente. Gli strumenti a termocoppia vengono normalmente usati per misurare correnti ad Alta Frequenza, e sono di frequente impiego nei trasmettitori per il controllo della corrente di aereo ad Alta Frequenza o per la misura della potenza.

Gli elementi normalmente impiegati per la realizzazione di tali dispositivi sono la « costantana » ed il « platino », o una sua lega.

Lo strumento a termocoppia viene collegato in serie al circuito sotto prova, in modo che la corrente di questo passi attraverso il filo *A* dello strumento (vedi **figura 10**), il quale è collegato al punto di giunzione di due metalli differenti; questa striscia bimetallica costituisce la *termocoppia* propriamente detta. Essa ha la proprietà di generare una tensione a corrente continua quando il punto di unione dei due metalli diversi di cui è costituita viene riscaldato (vedi Lez. 14 pag. 110) la corrente porta il filo ad una certa temperatura che viene trasmessa alla termocoppia, la quale, a sua volta, genera una piccola tensione a corrente continua disponibile ai terminali *C* e *D*, proporzionalmente all'ammontare del calore. Entro i limiti della termocoppia, maggiore è la corrente che percorre il circuito, maggiore è la tensione generata.

Allo scopo di ottenere una certa insensibilità alle variazioni della temperatura ambiente — e di effettuare quindi misure il più possibile esatte — i lati liberi della termocoppia devono essere collegati al centro di due strisce di rame separate. In tal modo essi avranno costantemente la temperatura media delle estremità, e non quella della parte centrale dell'elemento riscaldante. I terminali delle due piattine di rame sono posti abbastanza in prossimità di quest'ultimo affinchè abbiano la medesima temperatura, ma sono da esso elettricamente isolati mediante sottili fogli di mica. Non appena la corrente passa, la temperatura al centro dell'elemento attivo diventa molto maggiore che non alle estremità, ossia in corrispondenza dei lati liberi della termocoppia. Per tale motivo questo tipo di strumento viene denominato « a compensazione termica ».

La tensione presente tra i punti *C* e *D* viene applicata ad un comune strumento a bobina mobile. E' opportuno rilevare che, allo scopo di riscaldare la termocoppia, il filo *A* può essere percorso, come si è detto, sia da corrente continua che da corrente alternata, ma che, qualunque sia il genere di corrente che passa attraverso detto filo per essere misurata, ai terminali liberi della termocoppia è presente soltanto una tensione a corrente continua. Lo strumento a termocoppia, da quanto si è visto sopra, può essere definito come una combinazione dei due principi di funzionamento precedentemente spiegati, ossia del principio termico e di quello elettromagnetico.

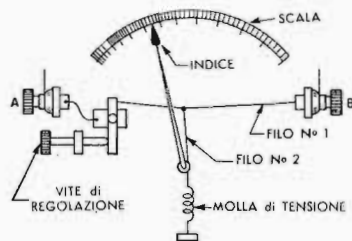



Fig. 9 — Misuratore di corrente per effetto termico, detto appunto a « filo caldo ». Il filo N. 1 si dilata, viene tirato dal filo N. 2, grazie alla molla, e quest'ultimo, agendo sull'indice, lo sposta in proporzione alla dilatazione, cioè a dire alla corrente tra « A » e « B ».

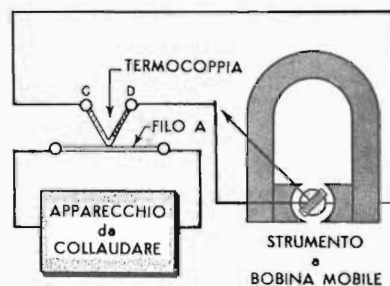



Fig. 10 — Misuratore a « termocoppia ». La corrente da misurare passa nel filo « A », riscalda il filo e quindi la coppia bimetallica. Ai capi di quest'ultima (tra C e D) si forma una corrente continua che viene letta dallo strumento a bobina mobile.

CONSIDERAZIONI GENERALI

Gli strumenti descritti possono essere utilizzati per misurare sia correnti alternate che correnti continue, modificando il circuito dello strumento e tarando opportunamente la scala graduata a seconda delle unità desiderate. I tipi a repulsione o ad aletta mobile o noti anche come tipi a « ferro mobile » vengono comunemente usati per le misure in corrente alternata. Gli strumenti a termocoppia vengono invece usati, in radio, esclusivamente per le misure a radiofrequenza; gli strumenti a bobina mobile possono essere impiegati per quasi tutti i tipi di misure. La descrizione dettagliata di questi strumenti che seguirà, prende in esame i vantaggi e le limitazioni di ciascuno di essi.

Circa le caratteristiche degli strumenti ecco intanto un cenno generico:

1) *Precisione.* Alcuni strumenti sono per loro natura notevolmente più precisi di altri.

2) *Influenza sulle condizioni di funzionamento del circuito.* Alcuni strumenti, allorchè vengono collegati in un circuito allo scopo di effettuare misure, ne alterano le condizioni; le variazioni causate dallo strumento allora, fanno sì che le misurazioni stesse non siano rigorosamente esatte. Altri strumenti invece, non hanno praticamente effetti apprezzabili nei confronti del circuito, perciò permettono misure più accurate e più esatte.

3) *Vari tipi di scale.* In alcuni strumenti le scale sono lineari, (ossia con intervalli regolari tra i numeri) mentre in altri si usano scale non lineari.

Il tecnico, in base a quanto esposto, può individuare il tipo più adatto di strumento per un dato scopo; in caso di emergenza, potrà anche modificare il tipo a sua disposizione onde adattarlo alle particolari necessità.

STRUMENTI per TENSIONI e CORRENTI CONTINUE

Equipaggio mobile D'Arsonval.

Lo strumento usato più comunemente in radiotecnica è il tipo a bobina mobile, preferito per la sua precisione, per la sua stabilità e per la linearità delle scale. Nel 1882 A. D'Arsonval, adottando il principio della bobina mobile, sviluppò un tipo di galvanometro, strumento adatto alla misura di correnti molto deboli. Sei anni dopo, E. Weston modificò notevolmente il progetto allo scopo di rendere questo tipo di strumento facilmente portatile; il principio basilare è però ancora noto come equipaggio D'Arsonval.

Costruzione.

Lo strumento a bobina mobile adotta un magnete permanente del tipo a ferro di cavallo, con espansioni polari in ferro dolce fissate alle sue estremità (**figura 11** sez. **A**).

Il magnete permanente presenta, tra le espansioni polari, un campo magnetico non uniforme, non adatto al funzionamento dello strumento, per cui tra dette espansioni viene posto un corpo cilindrico di ferro dolce che, oltre a rendere uniforme il campo in tutto lo spazio presente tra le espansioni, contribuisce alla conservazione del magnetismo del magnete stesso in quanto agisce come un accentratore di energia magnetica.

La bobina mobile consiste di diverse spire di filo sottile avvolte su un telaio di alluminio di forma rettangolare, (**figura 11** sez. **B**), e poichè essa deve essere leggera ed in grado di muoversi liberamente, è possibile avvolgere intorno al telaio solo un limitato numero di spire. La sottigliezza del filo permette il passaggio solo di piccole entità di corrente attraverso la bobina, quantità che variano a seconda dei modelli. Comunque, data la sensibilità, bastano in genere correnti molto deboli per provocare lo spostamento dell'indice lungo tutta la scala graduata.

L'intera bobina è alloggiata nel traferro presente tra le espansioni polari del magnete permanente ed il nucleo cilindrico di ferro dolce. Nei punti del telaio in cui sono fissate le molle a spirale, si trovano due perni di acciaio temperato, a loro volta appoggiati su piccoli rubini, in modo tale che bobina sia in grado di ruotare con un minimo di attrito (**figura 11** sez **C**).

L'indice è meccanicamente collegato alla bobina mobile e si sposta contemporaneamente ad essa; per bilanciare il peso dell'indice rispetto ai perni, si usano dei piccoli contrappesi.

I capi della bobina sono collegati ognuno ad una molla posta in corrispondenza di ciascun lato del telaio.

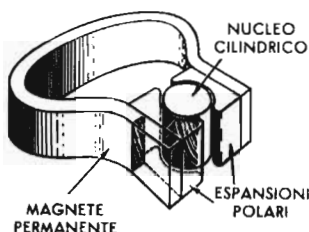



Fig. 11A — Nel classico strumento a bobina mobile si ha anzitutto un magnete permanente a ferro di cavallo con espansioni polari in ferro dolce: tra di esse è inserito un nucleo che accentra ed uniforma il flusso.

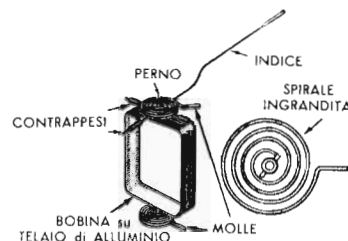



Fig. 11B — La bobina mobile è formata da diverse spire di filo sottile avvolte su un telaio di alluminio che può ruotare su due perni. Due molle a spirale frenano il movimento e provocano il ritorno alla posizione di partenza quando cessa la corrente.

Le parti terminali delle molle sono in comunicazione col circuito esterno, dal quale viene prelevata la corrente che attraversa la bobina. Una vite posta sulla parte superiore dell'equipaggio mobile permette di regolare, in assenza di corrente, la posizione di riposo dell'indice in corrispondenza del punto « zero » della scala graduata (**figura 11** sez. **D**).

Sistemi basilari di funzionamento.

Lo strumento a bobina mobile implica nel suo funzionamento tre sistemi basilari:

Sistema motore. L'indice — sappiamo — ha il compito di indicare l'ammontare della corrente che attraversa lo strumento. Ciò si ottiene grazie al sistema motore. Quando la corrente continua percorre la bobina, nel senso stabilito, essa produce un campo magnetico, a causa del quale viene respinta dal magnete permanente. Quindi, come già è stato spiegato, l'indice, che segue la bobina nel suo movimento, permette una lettura sulla scala graduata, a seconda della quantità di corrente che scorre nella bobina. Maggiore è la corrente, maggiore è il campo magnetico, e di conseguenza più intensa è la repulsione e quindi lo spostamento del complesso formato dalla bobina e dall'indice.

Se però la corrente attraversa la bobina in direzione opposta, si produce un campo magnetico opposto al precedente, e la bobina viene spinta nell'altro senso. In conseguenza, l'indice si sposta in senso contrario urtando contro il piccolo perno di arresto a sinistra, invece di spostarsi a destra verso la scala. Appare evidente da ciò che la corrente da misurare deve essere *applicata* allo strumento *con la polarità corretta*, in modo cioè che la bobina faccia ruotare l'indice verso destra, fino al punto estremo detto **fondo scala** che non può essere oltrepassato data la presenza, anche da questo lato, di un perno d'arresto.

Sistema di controllo. L'indice deve indicare con precisione la quantità di corrente che attraversa la bobina, e ritornare a zero non appena lo strumento viene staccato dal circuito. Queste due operazioni dipendono dal sistema di controllo. Le due molle a spirale collegate alla bobina compiono appunto la funzione di controllo dello strumento perchè:

a) regolano l'entità della rotazione compiuta dalla bobina. Per questo motivo devono essere costruite con precisione affinchè lo strumento possa permettere misure precise.

b) fanno tornare la bobina e l'indice alla posizione di zero non appena la corrente cessa di scorrere.

c) permettono l'entrata e l'uscita della corrente dalla bobina.

d) sono avvolte in senso opposto tra loro onde compensare le variazioni di temperatura.

Quando la corrente scorre e la bobina ruota, una delle molle si avvolge mentre l'altra si svolge. Non appena lo strumento viene staccato dal circuito esterno cessa il passaggio di corrente; entrambe le spirali ritornano alla loro posizione normale riportando nuovamente l'indice in posizione 0. Per ottenere questo effetto non è necessario che le due spirali siano avvolte in senso opposto, ma il vantaggio di tale provvedimento sta, come si è accennato sopra, nella sua azione di compensazione allorchè si verificano variazioni di temperatura. Infatti, appena la temperatura varia, le molle a spirale o si dilatano o si restringono; se entrambe si dilatano (o si restringono), essendo avvolte in senso opposto, mentre una tende a spostare la bobina in un senso l'altra tende a spostarla in senso contrario. Le loro azioni pertanto si oppongono, gli effetti termici si nautralizzono a vicenda, essendo le molle di pari tensione, e l'indice rimane in posizione zero. Ciò evita la regolazione della posizione zero dello strumento ogni volta che si verifica una variazione di temperatura.

Normalmente le spirali sono realizzate in bronzo fosforoso antimagnetico, e presentano bassa resistenza al passaggio di corrente. Poichè sono formate da metallo buon conduttore, possono essere usate per portare la corrente tra bobina e circuito esterno. Gli strumenti a bobina mobile presentano infine, una vite di regolazione della posizione zero, la quale agisce meccanicamente su una delle due molle (**figura 11** sez. **D**), consentendo di variare leggermente la posizione della bobina, e quindi dell'indice. Se quest'ultimo non indica zero quando nessuna corrente percorre lo strumento, deve e può essere regolato mediante tale vite in modo da farlo coincidere prima di effettuare qualsiasi misura.

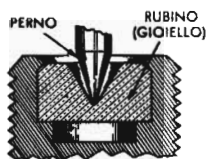



Fig. 11C — I perni — di acciaio temperato — poggiano su piccoli rubini in modo che la bobina sia in grado di ruotare con il minimo attrito.

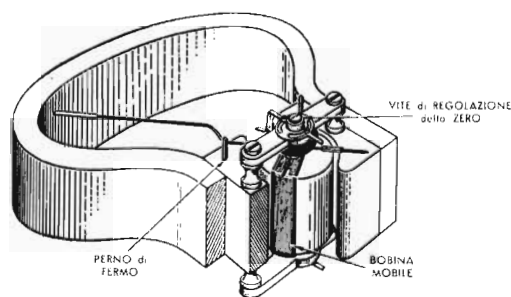



Fig. 11D — Le diverse parti sin qui esaminate, nel loro assieme di montaggio costituente l'intero strumento. Completano quest'ultimo una vite di regolazione dell'indice (piccoli spostamenti) per farlo coincidere con lo zero della scala, a riposo, e due perni d'arresto ai due lati estremi della corsa.

Sistema di smorzamento. L'indice deve pervenire e fermarsi prontamente al punto di lettura, senza oscillare. L'azione intrapresa per ottenere ciò viene definita smorzamento: i sistemi di smorzamento variano con i vari tipi di strumenti.

a) *Azione di smorzamento.* Scopo dello smorzamento è quello di permettere indicazioni rapide e corrette da parte dell'indice, senza che questi oscilli intorno al punto di lettura per un certo tempo, prima di fermarsi. La funzione dello smorzamento è analoga ad un'azione di freno nei confronti delle oscillazioni dell'indice. Nello strumento a bobina mobile questo effetto viene ottenuto normalmente in virtù del telaio di alluminio sul quale la bobina è avvolta. Non appena la bobina si sposta per registrare un passaggio di corrente, il telaio stesso sul quale è avvolta si comporta come una bobina costituita da un'unica spira in circuito chiuso; questa spira taglia le linee di forza magnetica del magnete permanente le quali inducono in essa una tensione. A causa di ciò, il telaio viene percorso da notevoli correnti parassite le quali, a loro volta, creano un campo magnetico circostante opposto a quello del magnete permanente. L'azione di frenatura che ne deriva rallenta il movimento della bobina.

Non appena la bobina si ferma, la tensione indotta nel telaio cessa, per cui non scorrono più le correnti parassite. Anche quando la bobina ritorna alla posizione zero, si ripete il fenomeno nel telaio di alluminio.

Ricapitolando, le correnti parassite indotte nel telaio creano un campo magnetico che si oppone a quello del magnete e frena l'azione delle molle a spirale, tendendo a portare — durante il movimento dell'equipaggio — la bobina, e perciò l'indice, verso la posizione opposta al movimento stesso.

b) *Smorzamento di un amperometro.* Quando lo strumento deve essere usato come amperometro, si collega in parallelo all'equipaggio mobile una resistenza di basso valore detta «**shunt**». Poichè tale resistenza si trova in parallelo alla bobina mobile, la corrente scorre in entrambe. Non appena la bobina inizia la sua rotazione, la f.e.m. opposta che si genera in essa, come ora sappiamo, si oppone alla corrente originale e tende a neutralizzarla finchè la bobina si arresta. Tale forza indotta diminuisce gradatamente mentre la corrente che percorrere la bobina aumenta fino a raggiungere il suo valore normale, fino al punto cioè in cui la bobina si arresta. La corrente che percorre lo «shunt» varia instantaneamente per compensare le variazioni di corrente attraverso la prima. Non appena lo strumento viene staccato dal circuito esterno, la bobina inizia il suo ritorno verso la posizione di riposo, tagliando le linee di forza, per cui anche allora, come è stato detto, ai suoi capi si produce una tensione indotta. Poichè vi è lo «shunt» ai capi della bobina, una certa corrente scorre nel circuito bobina-shunt, producendo un campo magnetico che si oppone a quello del magnete permanente, costituendo così un freno anche nei confronti del movimento di ritorno a zero.

CARATTERISTICHE di uno STRUMENTO

Resistenza interna. La bobina di ciascun strumento ha un certo valore di resistenza alla corrente continua, valore che dipende dal numero delle spire e dalle dimensioni del filo con cui esse sono avvolte, nonchè dalle dimensioni della bobina stessa.

Quanto più numerose sono le spire che costituiscono la bobina, tanto minore è l'ammontare di corrente necessario per creare un campo magnetico abbastanza intenso da provocare la deflessione dell'indice sino al fondo scala.

Sensibilità dell'equipaggio mobile. La sensibilità dello strumento può essere definita in due modi: in relazione alla *quantità di corrente* necessaria per la deflessione fino al fondo scala, ed in relazione al *rapporto ohm per volt*.

L'ammontare della corrente necessaria per la completa deflessione dell'indice dipende dal numero delle spire della bobina, in quanto, come si è detto, più numerose esse sono, più intenso è il campo magnetico prodotto, e quindi minore è la corrente necessaria per raggiungere il fondo scala. Le sensibilità variano da 0,5 μA (microampère) fino a circa 50 mA (milliampère), e minore è la quantità di corrente necessaria per la completa deflessione, maggiore ovviamente è la sensibilità dello strumento.

La sensibilità in *ohm per volt* è determinata dall'ammontare della resistenza che deve essere collegata in serie allo strumento per determinare la completa

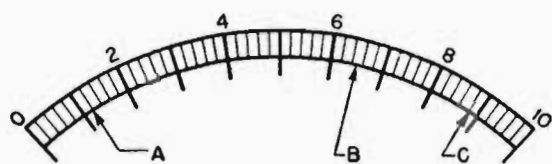



Fig. 12 — Quasi tutti gli strumenti a bobina mobile per misure in corrente continua sono provvisti di scala ad andamento lineare. Ciò significa che l'ammontare della deflessione è direttamente proporzionale alla corrente che scorre nella bobina.

Fig. 13 — La forma degli strumenti di misura ha subito evidenti cambiamenti; dal tipo tondo di una volta si è passati a quello odierno ad ampia scala. Per certi impieghi si hanno anche tipi a scala verticale.

deflessione quando si applica la tensione di 1 volt ai capi del circuito dello strumento stesso. Maggiore è la resistenza che deve essere applicata in serie allo strumento, maggiore è la sensibilità di quest'ultimo in ohm per volt. La *resistenza interna*, che può variare da una frazione di ohm a diverse centinaia di ohm, generalmente è abbastanza piccola da poter essere trascurata nei confronti della resistenza aggiuntiva: tuttavia, in alcuni tipi molto sensibili, che misurano pochi microampère fondo scala, la resistenza della bobina mobile è di qualche migliaio di ohm, per cui il suo valore non può più essere ritenuto trascurabile. La sensibilità e la resistenza interna sono caratteristiche proprie dell'equipaggio mobile, e non possono essere alterate a meno che non venga modificata opportunamente la costruzione dell'equipaggio stesso.

Precisione. Gli strumenti a bobina mobile costruiti per l'uso di laboratorio sono di alta precisione (dell'ordine dello 0,1 %): alcuni strumenti di precisione inferiore hanno tolleranza dello 0,5% circa. La precisione degli strumenti destinati ad usi generici è contenuta entro il 2%. Tale percentuale di precisione si riferisce esclusivamente al valore di lettura a fondo scala di ogni portata: ad esempio, se la tolleranza di uno strumento è contenuta entro il 2% su una portata massima di 500 volt, all'estremità della scala il valore letto avrà appunto una tolleranza del 2%, ossia corrisponderà a 500 volt ± 10 volt. Se, leggendo sulla medesima scala una tensione inferiore, l'errore fosse ancora di 10 volt, l'inesattezza risulterebbe maggiore del 2%; in realtà, invece, l'ammontare dell'errore diminuisce proporzionalmente rispetto allo spostamento dell'indice. Molti strumenti tuttavia, permettono una precisione lungo la scala graduata, maggiore di quella garantita. E' importante tener presente che la precisione nelle misure di tensioni e di correnti eseguite con uno strumento a bobina mobile, tende ad essere maggiore quando le misure vengono effettuate in modo che l'indice si porti in prossimità del fondo scala, a causa della maggiore comodità di lettura.

Ricordiamo infine che, quando uno strumento viene connesso ad un circuito, molte volte, per questo solo fatto nasce un particolare problema che si riferisce alla precisione: si hanno letture errate, non a causa dell'inesattezza dello strumento di per sè, bensì a causa delle variazioni apportate dallo strumento stesso alle caratteristiche del circuito e dovute alla corrente da esso stesso assorbita.

Caratteristiche della scala. La maggior parte degli strumenti a bobina mobile usati per le misure in corrente continua sono provvisti di scala lineare — con spazi eguali cioè, tra i numeri — simile a quella illustrata in **figura 12**. L'ammontare della deflessione è direttamente proporzionale alla quantità di corrente che scorre nella bobina, e quando tutta la corrente della portata la percorre, l'indice si trova a fondo scala. Quando la corrente che scorre nella bobina corrisponde alla metà della portata, l'indice si trova nel punto centrale della scala, e così via. Ad esempio, il punto *A* della scala corrisponde ad una lettura di 1,2; il punto *B* corrisponde a 6,5 ed il punto *C* a 8,8.

In merito alle scale non lineari diremo più avanti.

Come vedremo in seguito, gli strumenti a bobina mobile sono posti in commercio in varie dimensioni e con varie caratteristiche: esistono infatti strumenti da pannello, di dimensioni notevoli, che devono funzionare in posizione verticale, altri che devono invece funzionare in posizione orizzontale, ed altri ancora il cui indice è bilanciato in modo tale che la posizione di funzionamento non influenza la precisione se non in quantità del tutto trascurabile.

I tipi in uso fino a qualche anno fa erano generalmente di forma rotonda, con indice munito di punta a « freccia », e gli equipaggi in essi contenuti erano costituiti da grosse calamite ad anello. Oggi invece, sia per il progresso conseguito dal punto di vista estetico, sia per quello conseguito nel campo dei magneti permanenti, gli strumenti vengono realizzati e posti in commercio in forme per lo più rettangolari e con ampie scale per una comoda lettura. Gli equipaggi in essi contenuti utilizzano piccoli magneti permanenti in leghe speciali ad alto rendimento, che, in ridotte dimensioni, consentono di ottenere potenze che una volta potevano essere raggiunte solo con grosse e pesanti calamite.

Vedremo, nelle prossime lezioni, come gli strumenti a bobina mobile possano essere adattati, mediante l'impiego di altri componenti aventi determinate caratteristiche, a quasi tutti i tipi di misure che il tecnico deve correntemente effettuare nella sua attività di laboratorio.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

E_T = Tensione totale

G_T = Conduttanza totale

I_T = Corrente totale

P_T = Potenza totale

Re = Resistenza equivalente

R_T = Resistenza totale

FORMULE

Tra due resistenze in parallelo

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

oppure

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

In un circuito in parallelo

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots\ldots$$

$$E_T = E_1 = E_2 = E_3 = \ldots\ldots$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots\ldots$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots$$

In un circuito in serie

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \ldots\ldots$$

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots\ldots$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots$$

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots\ldots$$

SEGNI SCHEMATICI

 = Interruttore

= Termocoppia con elemento riscaldante isolato.

= Termocoppia con elemento riscaldante a contatto.

DOMANDE sulle LEZIONI 16ª e 17ª

N. 1 - Nominare le quattro unità di uso più comune nei circuiti elettrici.

N. 2 - Enunciare la formula che permette di determinare la corrente in funzione della tensione e della resistenza.

N. 3 - Se si aumenta da 100 a 150 ohm la resistenza presente ai capi di un potenziale costante di 150 volt, quale variazione subisce l'intensità di corrente?

N. 4 - Enunciare le formule che determinano:

a) La tensione in base alla corrente e alla resistenza.

b) La resistenza in funzione della tensione e della corrente.

N. 5 - Esprimere la potenza in funzione del lavoro e del tempo.

N. 6 - Esprimere la potenza in funzione di

a) Corrente e tensione.

b) Tensione e resistenza.

c) Corrente e resistenza.

N. 7 - Quale potenza viene dissipata da una resistenza da 20 ohm, percorsa da una corrente di 2 ampère?

N. 8 - Se si diminuisce da 400 a 200 ohm il valore di una resistenza collegata ai capi di una tensione costante di 100 volt, quale variazione subisce la potenza dissipata?

N. 9 - Possono tre resistenze in serie essere percorse da diverse intensità di corrente?

N. 10 - Possono due resistenze in parallelo tra loro avere ai loro capi due diverse differenze di potenziale?

N. 11 - Esprimere l'energia in funzione di

a) Corrente, tensione e tempo.

b) Tensione, resistenza e tempo.

c) Corrente, resistenza e tempo.

d) Coulomb e voltaggio (tensione).

N. 12 - Un apparecchio elettrico da 1.200 watt funziona con una tensione di 120 volt. A quanto ammonta la corrente?

N. 13 - Quanta energia in wattore viene fornita da un accumulatore da 6 volt che eroga 5 ampère per 8 ore?

N. 14 - Quale è la tensione presente ai capi di una resistenza da 50 ohm, se la potenza dissipata è di 250 watt?

N. 15 - Se una resistenza da 100 ohm dissipa 25 watt, quale è la corrente che la percorre?

N. 16 - Se si aumenta la tensione presente ai capi del filamento di una lampadina, la corrente aumenta proporzionalmente secondo la legge di Ohm?

N. 17 - Quale è la condizione necessaria affinchè un certo numero di lampadine possano essere collegate in serie?

N. 18 - Quale è la condizione necessaria affinchè un certo numero di lampadine possano essere collegate in parallelo?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 113

N. 1

Il magnetismo, ossia la sua attitudine ad attirare sostanze come il ferro, l'acciaio, il nichel, ecc.

N. 2 -

La forza è massima alle estremità e nulla al centro.

N. 3 -

Nelle linee immaginarie che costituiscono un circuito chiuso tra i poli, lungo il quale agisce la forza magnetica.

N. 4 -

Dal polo Nord.

N. 5 -

Un circuito completo, lungo il quale sussistono linee di forza create da un magnete.

N. 6 -

Il magnete è costituito da magnetite o da acciaio, o da speciali leghe che hanno in sè la forza magnetica. L'elettromagnete è un corpo di ferro dolce che si magnetizza a causa della corrente che scorre in un avvolgimento che lo circonda.

N. 7 -

Per contatto con altro magnete e per immersione in un campo magnetico.

N. 8

Il magnetismo che rimane in un elettromagnete, una volta cessata la corrente che lo ha prodotto.

N. 9 -

Sono orientati a caso. Si orientano tutti nel medesimo senso in seguito alla magnetizzazione.

N. 10 -

Gruppi di miliardi di atomi, i cui poli hanno eguale orientamento.

N. 11 -

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

N. 12 -

In senso orario.

N. 13 -

Aumentando il numero delle spire o l'intensità della corrente, o ancora la permeabilità del nucleo.

N. 14 -

Schermandolo con un materiale magnetico.

N. 15 -

Una linea di forza.

N. 16 -

Magnetomeccanico, elettrostatico, termoelettrico, piezoelettrico, fotoelettrico e chimico.

N. 17 -

Lo statore, il rotore, gli avvolgimenti e le spazzole.

N. 18 -

Quattro: taglio X, Y, Z e AT.

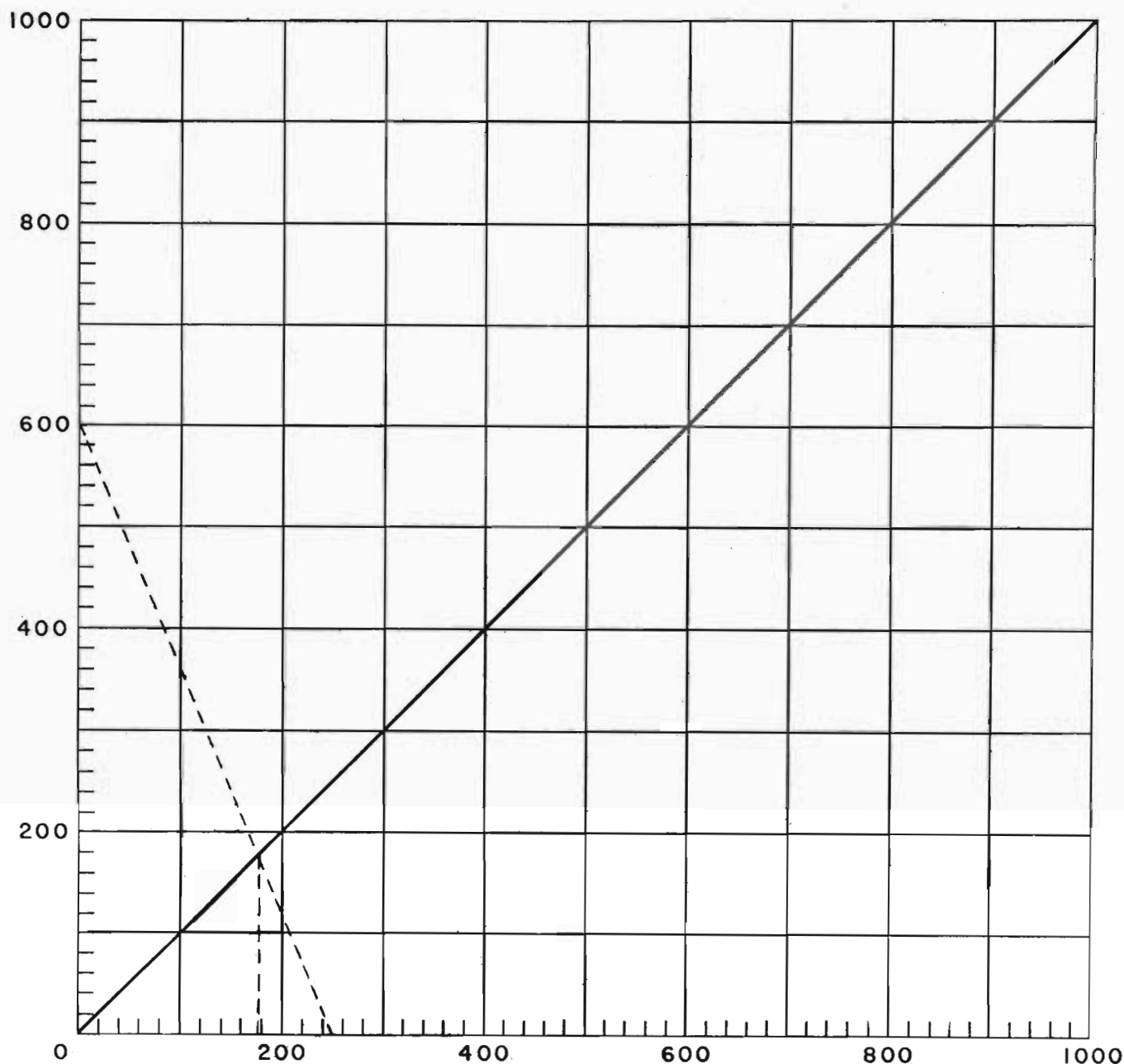
N. 19 -

Il taglio lungo l'asse AT poichè il coefficiente è quasi nullo.

N. 20 - Due: ad emissione e ad assorbimento.

TABELLA 37 - CALCOLO RAPIDO del VALORE di DUE RESISTENZE in PARALLELO

Rapporto $R_2 : R_1$	Moltiplicare R_1 per	Rapporto $R_2 : R_1$	Moltiplicare R_1 per
1,00	0,500	4,10	0,805
1,05	0,512	4,20	0,808
1,10	0,524	4,30	0,811
1,15	0,535	4,40	0,815
1,20	0,545	4,50	0,819
1,25	0,556	4,60	0,821
1,30	0,565	4,70	0,825
1,35	0,575	4,80	0,828
1,40	0,583	4,90	0,830
1,45	0,592	5,00	0,833
1,50	0,600	5,25	0,840
1,55	0,608	5,50	0,846
1,60	0,615	5,75	0,852
1,65	0,623	6,00	0,857
1,70	0,630	6,25	0,862
1,75	0,636	6,50	0,867
1,80	0,643	6,75	0,871
1,85	0,650	7,00	0,875
1,90	0,655	7,25	0,880
1,95	0,662	7,50	0,882
2,00	0,667	7,75	0,885
2,05	0,670	8,00	0,888
2,10	0,677	8,25	0,893
2,15	0,682	8,50	0,895
2,20	0,687	8,75	0,898
2,25	0,692	9,00	0,900
2,30	0,697	9,25	0,903
2,35	0,701	9,50	0,905
2,40	0,706	9,75	0,908
2,45	0,710	10,00	0,909
2,50	0,714	10,50	0,913
2,55	0,719	11,00	0,917
2,60	0,722	11,50	0,920
2,65	0,725	12,00	0,923
2,70	0,730	12,50	0,926
2,75	0,732	13,00	0,929
2,80	0,737	13,50	0,932
2,85	0,740	14,00	0,933
2,90	0,743	14,50	0,935
2,95	0,748	15,00	0,937
3,00	0,750	16,00	0,941
3,10	0,755	17,00	0,945
3,20	0,762	18,00	0,948
3,30	0,767	19,00	0,950
3,40	0,772	20,00	0,952
3,50	0,778	21,00	0,955
3,60	0,782	22,00	0,957
3,70	0,786	23,00	0,959
3,80	0,791	24,00	0,960
3,90	0,796	25,00	0,961
4,00	0,800	30,00	0,967

TABELLA 38 - GRAFICO per il CALCOLO del VALORE di DUE RESISTENZE in PARALLELO

A mezzo della tabella 37, si può conoscere, con buona precisione, il valore risultante da due resistenze connesse in parallelo. Noti i valori delle due resistenze, sia *R1* il valore minore ed *R2* quello maggiore. Il quoziente tra *R2* ed *R1* dà un numero che, individuato nella colonna (*R2:R1*), è affiancato ad un altro nella colonna « *Moltiplicare R1 per* ». Effettuando il prodotto, si ha il valore risultante. Se il rapporto *R1:R2* non figura esatto nella relativa colonna, si sceglie il valore più prossimo.

Esempio: Due resistenze sono in parallelo. La minore, *R1*, è di 2.500 ohm, e la maggiore, *R2*, è di 6.000 ohm. Si ha *R2:R1* = 6.000 : 2.500 = 2,4. A lato di 2,40, troviamo il coefficiente 0,706 che va moltiplicato per *R1* :

0,706 × 2.500 = 1.765 (valore risultante).

L'uso della tabella 38 è invece il seguente: noti i valori di *R1* e di *R2*, si individuano i loro punti sulle due scale, orizzontale e verticale, numerate da 0 a 1.000 (in ohm), ma che possono essere moltiplicate o divise entrambe per un sottomultiplo o multiplo di 10. *Ripetiamo l'esempio precedente*. Si trovano i punti corrispondenti ad *R1* (2.500) e ad *R2* (6.000). Il primo, sull'asse orizzontale, corrisponderà a 250 (×10), e, poichè ogni divisione corrisponde al valore di 20 (nel nostro caso 200), il punto sarà due spazi e mezzo a destra di 200. Sull'asse verticale si trova il punto corrispondente a 6.000 (600×10). Uniti i punti con una linea immaginaria (a mezzo di un righello) si individuerà un terzo punto corrispondente all'incrocio della linea immaginaria con la retta inclinata a 45°. Da tale punto si abbassa una perpendicolare (con l'aiuto del righello), fino ad incontrare nuovamente l'asse orizzontale, sul quale leggeremo il valore di circa 1.800, assai approssimato a quello di 1.765 precedentemente trovato. Il grafico è meno preciso della tabella 37 ma, tenendo conto della tolleranza che esprime il valore delle resistenze, l'approssimazione è sufficiente. Il grafico è reversibile. Noto il valore da ricavare, dal punto corrispondente sull'asse orizzontale si traccia una perpendicolare fino ad incontrare la retta inclinata. Tutte le rette passanti per quel punto, e che incontrano i due assi del grafico, individuano altrettante coppie di valori che, connessi in parallelo, dànno il valore desiderato.

NORME ELEMENTARI di CALCOLO ALGEBRICO

Uno dei principali criteri di svolgimento del nostro Corso consiste nell'esposizione della materia in maniera tale che essa possa essere accessibile anche a chi non ha svolto studi ulteriori alle scuole elementari. Abbiamo avuto cura perciò nelle lezioni sin quì svolte, di redigere opportune note esplicative nei riferimenti di espressioni e termini matematici che avrebbero potuto riuscire nuovi a tali lettori. Ora, nell'accingerci — con la lezione prossima — all'esame di circuiti più complessi di quelli sinora visti, riteniamo giunto il momento di dedicare uno spazio maggiore alla spiegazione di alcune regole elementari di calcolo il cui nome e la cui presenza non deve tuttavia spaventare il lettore non molto portato a questo studio.

Egli si accorgerà — anche in virtù degli esempi che appositamente riportiamo — di quanto semplici ed utili siano i calcoli algebrici; con essi gli sarà infatti consentito di seguire in maniera assai più completa l'esame della materia futura.

TERMINOLOGIA DELL'ALGEBRA

Per **espressione algebrica** si intende qualsiasi combinazione di numeri, di lettere usate come numeri, e di segni, che esprima un valore totale ottenibile mediante l'effettuazione delle operazioni da essa indicate: ad esempio $(a+b)$, oppure $\frac{x}{2y}$ sono espressioni algebriche, nelle quali le lettere rappresentano numeri.

Abbiamo già visto che il prodotto tra due o più numeri in algebra è a volte indicato con un puntino in luogo del noto segno « x », oppure, è indicato dal semplice accostamento dei vari fattori; così il prodotto di a per b viene scritto semplicemente come ab; il prodotto 6 per a per b è rappresentato da $6ab$.

Ogni fattore numerico facente parte di un prodotto è un **coefficiente** che esprime per quante volte si intende moltiplicata la parte letterale; ad esempio, $6ab$ significa che il prodotto ab si intende a sua volta moltiplicato per il numero 6.

Nell'algebra si hanno anche **numeri negativi**, cioè quantità numeriche di valore progressivamente *inferiore allo zero*. Consideriamo in proposito la **figura 1**: notiamo anzitutto che i numeri che partono dallo zero, proseguono verso destra fino all'infinito. Se però procediamo a ritroso, ossia verso sinistra, dopo aver oltrepassato lo zero entriamo in un campo in cui i valori numerici si susseguono nel medesimo ordine, *ma esprimono quantità negative*.

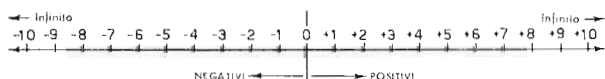



Fig. 1 — Rispetto ad un punto « zero » possiamo avere infiniti valori, ossia numeri, positivi così come altrettanti negativi

Mediante questo sistema, è possibile sottrarre due numeri di cui il secondo è maggiore del primo: ad esempio 3 (positivo) — 5 (negativo) = —2 (negativo).

Chiameremo **valore assoluto** di un numero, il suo valore indipendentemente dal segno, ossia indipendentemente dal fatto che sia positivo o negativo, mentre viene detto **valore relativo** il valore considerato col suo segno, ossia riferito allo zero preso come punto di riferimento.

Qualsiasi numero, aritmetico o letterale, o il prodotto, o il quoziente tra due o più numeri, prende nome di **termine** o monomio: ad esempio 4, x, y, $25b$, ab, $\frac{x}{y}$, $\frac{3a^2b}{c}$ sono dei termini.

Le QUATTRO OPERAZIONI ALGEBRICHE

I termini aventi la medesima parte letterale possono essere sommati o sottratti, come ad esempio $4x+5x=9x$, oppure $5x+10x=15x$, o ancora $4ab-7ab=-3ab$. Però nel caso in cui la parte letterale differisce, l'operazione può essere soltanto indicata; ad esempio, l'espressione $4x+5m$, può essere risolta solo sostituendo ad x e ad m dei valori numerici.

Addizione

Nella somma di termini algebrici, si hanno le seguenti regole:

1) La somma di due o più numeri di segno positivo dà un valore positivo.
   Esempio: $+6+3+4=+13$
2) La somma di due o più numeri di segno negativo dà un valore negativo.
   Esempio: $-6-3-4=-13$
3) La somma di due o più numeri di segno diverso dà un valore pari alla differenza tra i valori assoluti, il cui segno è eguale a quello del numero più alto.

Sottrazione

Nella sottrazione di numeri il processo è inverso; infatti, per sottrarre una quantità da un'altra, si cambia il segno della quantità da sottrarre, dopo di che si provvede alla addizione, come nel caso precedente.
Esempio:

$$(-6)-(-3)=(-6)+(+3)=-3$$
$$(-3)-(-6)=(-3)+(+6)=+3$$
$$(-6)-(+3)=(-6)+(-3)=-9$$

Segni di raggruppamento

Esistono in algebra dei simboli, i quali hanno il compito di raggruppare varie quantità o termini interessati alla medesima operazione: essi sono la parentesi tonda ( ), la parentesi quadra [ ], oppure la graffe { } nonchè la linea di frazione ———. Tutti questi simboli indicano che le quantità da essi delimitate devono essere considerate come un'unica quantità.

Nelle espressioni complesse nelle quali esistono tali simboli contemporaneamente, allo scopo di evitare errori di calcolo e soprattutto di segno, si effettuano le varie operazioni seguendo un ordine logico e progressivo; si comincia cioè, coll'eseguire le operazioni indicate nelle paretensi più interne — e precisamente tra le parentesi tonde — dopo di che si passa a quelle quadrate, ed infine alle graffe.

Il segno — posto davanti ad una parentesi cambia il segno di tutti i termini in essa contenuti; un'operazione contenente parentesi si esegue in tal caso nel modo seguente:

1° *Esempio*:

$4a - 3ab - (+3a + 2ab) = 4a - 3ab - 3a - 2ab = 1a - 5ab$

Per ciò che riguarda l'espressione di cui sopra facciamo osservare che il segno + posto innanzi ad un termine all'inizio di un'espressione (o come primo termine all'interno di una parentesi) viene normalmente omesso in quanto, in tal caso, un termine privo di segno si intende positivo.

Analogamente viene omesso il coefficiente « 1 » innanzi ai valori letterali dato che l'assenza del coefficiente significa che lo stesso equivale a 1.

2° *Esempio*:

$3a - [2am - (2a + 5am) + a^2]$	Togliendo le parentesi tonde, si ha:
$3a - [2am - 2a - 5am + a^2]$	da cui, eliminando le parentesi quadre:
$3a - 2am + 2a + 5am - a^2]$	Raggruppando ora i termini analoghi.
$5a + 3am - a^2$	

che può essere considerata l'espressione più semplice alla quale è dato giungere eliminando le parentesi.

Moltiplicazione

Nella moltiplicazione di termini algebrici è necessario tener conto del segno, dell'esponente e del coefficiente dei termini stessi. Nei confronti del segno, vale la regola che **il prodotto tra due termini di segno eguale dà un termine di segno positivo**, e che **il prodotto tra due termini di segno diverso dà un termine di segno negativo.**

Esempio:

(+6)	moltiplicato	(+4)	= +24
(—6)	»	(—4)	= +24
(+6)	»	(—4)	= —24
(—6)	»	(+4)	= —24

Il prodotto tra due potenze aventi la medesima base è eguale ad una potenza avente ancora la medesima base, e per esponente la somma degli esponenti.

Esempio:

(a^2) moltiplicato $(a^3) = a^6$

(ab^3) moltiplicato (ab) moltiplicato $(ab^2) = a^3b^6$

(in questo caso l'esponente del primo fattore a è 1; esso non viene scritto, ma se ne tiene conto).

In caso di termini muniti di segno, occorre tener conto della regola relativa.

Esempio:

$(+ab^2)$ moltiplicato $(+ab) = +a^2b^3$

$(+ab^2)$ moltiplicato $(-ab^3) = -a^2b^5$

Il coefficiente del prodotto tra due fattori è eguale al prodotto tra i coefficienti stessi.

Esempio:

$6a$ moltiplicato $2a$ moltiplicato $4a = 48a^3$

$(+6a)$ moltiplicato $(-2a)$ moltiplicato $(+4a) = -48a^3$

Se la parte letterale differisce, il loro prodotto resta solo indicato dall'accostamento delle lettere, altrimenti si procede come indicato precedentemente.

Esempio:

$2ab$ moltiplicato $4a$ moltiplicato $2a^2c = 16a^4bc$

Divisione

Nella divisione tra due termini, per ottenere il quoziente è necessario — come per la moltiplicazione — tener conto del loro segno, coefficiente ed esponente.

Anche in questo caso il quoziente tra due termini di segno eguale dà un termine di segno positivo, e tra due termini di segno diverso un termine di segno negativo.

Esempio:

(+6)	diviso	(+2)	= +3
(—6)	»	(—2)	= +3
(+6)	»	(—2)	= —3
(—6)	»	(+2)	= —3

Il quoziente tra due potenze aventi la medesima base è eguale ad una potenza avente ancora la medesima base, e per esponente la differenza tra gli esponenti.

Esempio:

(a^4) diviso $(a^2) = a^2$

(ab^3) diviso $(ab) = b^2$

(nel secondo esempio l'esponente di a è 1, e poichè $1 - 1 = 0$, il termine a non figura nel quoziente).

Per ottenere il coefficiente del quoziente è sufficiente dividere il valore assoluto dei coefficienti del dividendo e del loro divisore, osservando — naturalmente — la regola dei segni.

Esempio:

$(+6a^3)$ diviso $(+3a^2) = 2a$

$(+6a^3)$ diviso $(-3a^2) = -2a$

EQUAZIONI

Per equazione si intende una espressione costituita da due membri di eguale valore. Si afferma perciò con essa una eguaglianza.

La sua risoluzione consiste nel trovare i valori numerici dei termini letterali per i quali l'equazione stessa sussiste.

Nelle equazioni valgono le seguenti regole generali:

1) Se si aggiunge o si sottrae il medesimo numero da entrambi i membri di una equazione, essa resta sempre una equazione.

2) Se entrambi i membri vengono moltiplicati o divisi per un eguale numero diverso da zero, il valore dell'espressione ed il suo significato non cambiano.

3) Se entrambi i membri di una equazione vengono elevati alla medesima potenza, o se da essi si estrae una radice col medesimo indice, l'equazione o eguaglianza continua a sussistere.

Tali regole permettono i processi cosiddetti di « semplificazione », consistenti nella *trasposizione*, nell'*inversione di segno*, e nella *eliminazione*.

La *trasposizione* consiste nel portare un termine da un membro all'altro, dopo aver invertito il suo segno. In altre parole, è possibile togliere un termine positivo da un membro, e portarlo all'altro col segno negativo, e viceversa; ciò è semplicemente un diverso modo per dire quanto enuncia la regola 1), dato che il termine è stato sottratto da o, aggiunto a, entrambi i membri.

È pure possibile togliere un fattore (moltiplicazione), da un membro, e portarlo all'altro come divisore. In altre parole, l'*inversione* del segno di un termine in entrambi i membri di un'equazione è semplicemente un altro modo per moltiplicare o dividere entrambi per —1 (regola 2).

L'*eliminazione* o elisione consiste nell'eliminare i termini eguali che moltiplicano o dividono entrambi i membri di una equazione.

Per risolvere una equazione, occorre innanzitutto effettuare tutte le operazioni indicate che possono essere effettuate, dopo di che essa viene semplificata per quanto possibile applicando le regole generali. Una volta ridotta nella sua forma più semplice, la soluzione consiste nell'isolare al primo membro il termine incognito il quale risulterà automaticamente eguale al valore indicato dal secondo.

Esempi:

1) Data l'equazione $x - 5 = 3$, trovare x.

Aggiungendo +5 ad entrambi i membri (regola 1), si ha:

$x - 5 + 5 = 3 + 5$ ossia $x = 8$

2) Data l'equazione $5x - 4 = 21$, trovare x.

Aggiungendo 4 ad entrambi i membri (regola 1), si ha:

$5x - 4 + 4 = 21 + 4$ da cui $5x = 25$

dividendo entrambi i membri per 5 (regola 2), si ha:

$x = 25 : 5 = 5$

3) Data l'equazione $\frac{1}{3} x + 5 = 8$, trovare x.

Sottraendo 5 da entrambi i membri (regola 1), si ha:

$\frac{1}{3} x + 5 - 5 = 8 - 5$ da cui, $\frac{1}{3} x = 3$

Moltiplicando ora entrambi i membri per 3 (regola 2), si ha:

$\frac{3}{3} x = 9$ ossia: $x = 9$

4) Data l'equazione $\frac{4}{5} x + 5 = 25 - 1 \frac{1}{5} x$, trovare x.

Sottraendo 5 da entrambi i membri (regola 1), si ha:

$\frac{4}{5} x = 20 - 1 \frac{1}{5} x$

Aggiungendo $1 \frac{1}{5} x$ ad entrambi i membri (regola 1),

si ha: $\frac{4}{5} x + 1 \frac{1}{5} x = 20 - 1 \frac{1}{5} x + 1 \frac{1}{5} x$

da cui: $\frac{5}{5} x + 1x = 20$ ossia: $2x = 20$

dividendo entrambi i membri per 2 (regola 2) si ha:

$x = \frac{20}{2} = 10$

5) Data l'equazione $16 - 5 (x + 3) = 4 (2x + 1) - 9 \frac{1}{2}$, trovare x. Togliendo le parentesi, si ha:

$16 - 5x - 15 = 8x + 4 - 9 \frac{1}{2}$

e, semplificando: $1 - 5x = 8x - 5 \frac{1}{2}$

Sottraendo 1 da entrambi i membri (regola 1), si ha:

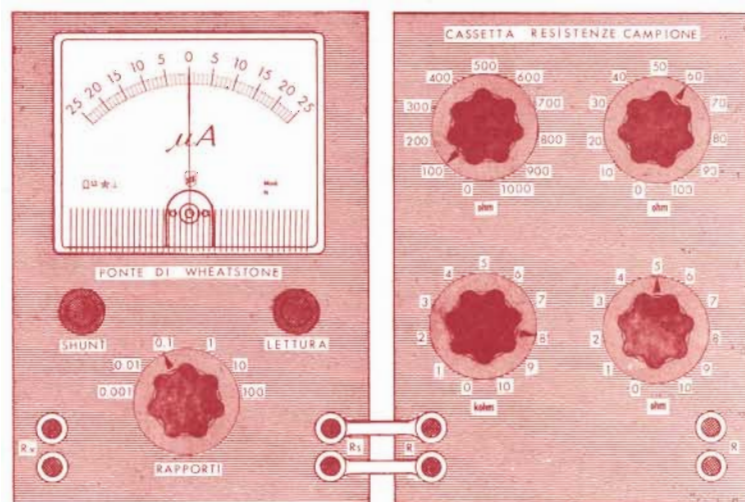
$-5x = 8x - 6 \frac{1}{2}$

Sottraendo $8x$ da entrambi i membri (regola 1), si ha:

$-13x = -6 \frac{1}{2}$

Dato che 6 è eguale a 12/2, l'intero secondo membro equivale a 13/2 per cui, dividendo entrambi i membri per —13 (regola 2), ossia per un numero negativo, essi diverranno positivi, e precisamente:

$x = \frac{1}{2}$.

Sul 7° fascicolo una descrizione dettagliata per la costruzione di un PONTE di WHEATSTON. Uno strumento per il vostro Laboratorio, che consente la misura — con elevata precisione — delle resistenze da 1 millesimo di ohm a 1.111.000 ohm.

Abbiamo istituita una particolare forma di abbonamento per coloro che risultano in possesso di fascicoli già pubblicati: si potrà, d'ora in poi, inviare l'importo dell'abbonamento decurtato della quota corrispondente ai fascicoli posseduti, detraendo per ognuno di essi **lire 120 (centoventi)**.

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi dei primi 5 fascicoli sinora pubblicati ne offriamo l'invio - franco a domicilio - per il solo importo di lire 750.